José Manuel Sánchez Ron

LA VIDA DE LA CIENCIA Y LA CIENCIA DE LA VIDA

Ilustraciones de
Alberto Gamón

Nørdicalibros

José Manuel Sánchez Ron

LA VIDA DE LA CIENCIA Y LA CIENCIA DE LA VIDA

Ilustraciones de
Alberto Gamón

Nørdicalibros

José Manuel Sánchez Ron

LA VIDA DE LA CIENCIA
Y LA CIENCIA DE LA VIDA

Ilustraciones de

Alberto Gamón

Nørdicaebooks
Pronto llegará la nieve. Se siente en el aire
www.nordicalibros.com

A Gustavo Torner, que me

ha regalado su amistad.

PRÓLOGO

Navegamos por la vida como si fuéramos barcos sometidos a los vaivenes de elementos que no siempre podemos controlar, ni siquiera predecir, en ocasiones tampoco entender. Por ello necesitamos brújulas que nos permitan orientarnos en ese azaroso camino. Como si fueran faros a los que aferrarnos en la oscuridad, nuestros seres más queridos nos aportan luces que nos ayudan a vislumbrar sendas por las que transitar, pero por valiosos y generosos que sean sus aportes, ¿cómo pedir, cómo estar seguro de que sus miradas, sus certezas, son más seguras que las propias? En última instancia todos estamos unidos en los insondables océanos del azar y la necesidad, el azar de lo imprevisible y la necesidad que nos imponen las leyes que obedecen los fenómenos y entidades presentes en la naturaleza. Y cuando digo «leyes de la naturaleza» me estoy refiriendo a la Ciencia, el único instrumento verdaderamente fiable para descubrir esas leyes, aunque se trate de descubrimientos revisables. En los veinticinco capítulos de este libro —la mayoría reelaboraciones de artículos que publiqué en la revista El Cultural a lo largo de los últimos cinco años— he intentado moverme en el doble territorio de la ciencia y de la vida, entendida esta no solo bajo la óptica que determina la ciencia sino también desde perspectivas más amplias, especialmente la del efecto que nuestras bien informadas (por la ciencia y la técnica) acciones ejercen en nuestro hábitat, el planeta Tierra, y en nosotros mismos, en nuestro presente y en nuestro futuro. De ahí el título, La vida de la ciencia y la ciencia de la vida. Se trata de comprender de dónde venimos —«hijos de las estrellas»—, qué somos, en qué, tal vez, podremos convertirnos, y acaso sobre todo, entender que lo que hacemos tiene consecuencias, y cuáles son estas.

Todo autor tiene un guion para su obra, una idea o línea maestra con la que pretende dirigir su narración y que subyace, con mayor o menor claridad, en ella. No soy una excepción: la secuencia de los capítulos que siguen no es arbitraria; de hecho, aunque incompleta

y esquemática, apenas esbozada, esconde una visión del mundo, mi visión del mundo. Me gustaría que esta visión mía no fuera, como creo que es en el fondo, agridulce, pero no puedo engañarme. Es dulce porque nadie —y menos aún un antiguo físico teórico reconvertido en historiador de la ciencia— puede dejar de maravillarse ante la capacidad humana para descubrir las leyes que rigen el universo, leyes que permiten hacernos una idea de la historia de cómo este llegó a ser lo que es en este momento, al igual que aventurar su destino futuro. Y es agria porque ensoberbecidos por nuestros conocimientos y el poder que este nos da, no parece que seamos capaces de evaluar hacia dónde nos puede llevar, hacia dónde parece que inevitablemente nos está llevando. Si las páginas que siguen ayudan a alguien a ser más consciente, a no engañarse, habrán cumplido con creces su propósito.

Madrid, mayo de 2021

1

HIJOS DE ESTRELLAS

Somos los improbables hijos de alguna estrella, cenizas de su muerte, la némesis que restituyó el desorden primigenio desbaratado miles de millones de años atrás por la fuerza de la gravedad.

Todo, el universo, comenzó con un suceso que sabemos situar en el tiempo, pero cuya razón de ser, cuyo origen —hace unos 13.800 millones de años— desafía la capacidad humana de comprender: el gran estallido que nombramos en nuestra lengua con un anglicismo innecesario, el Big Bang. La historia de cómo se generaron las partículas, átomos y radiaciones que conforman el universo es fascinante. Primero fue la «luz»; los fotones que constituían la «luz-energía primigenia» eran lo suficientemente energéticos como para que se produjesen pares electrón-positrón. Materia-antimateria, partícula-antipartícula, hermanas fratricidas compartiendo un momento efímero de paz porque se aniquilaban rápidamente para convertirse de nuevo en radiación. Por razones todavía no bien conocidas, se generaron o sobrevivieron más electrones que positrones. Afortunadamente, existe más materia que antimateria.

De aquella luz primordial, y nutrida por el torrente energético producido, surgió una sopa de quarks, de la que nacieron electrones, protones y neutrones. Más tarde, y en proporciones diferentes, se formaron los cinco elementos más ligeros que existen en la naturaleza: hidrógeno, helio, litio, berilio y boro (el hidrógeno y el helio constituyen, aproximadamente, el 74 % y el 24 %de la materia conocida del universo). Aquel proceso de nucleosíntesis primordial terminó 20 minutos después del gran estallido, antes de que se produjese una cantidad significativa de carbono, el sexto elemento químico más ligero. En cuanto a los restantes elementos que existen en el universo, se formaron en «cocinas» estelares, en el

interior de estrellas, en las que las presiones eran tan elevadas como para que átomos de hidrógeno y helio se fundieran entre sí dando origen a otros elementos más pesados, y así sucesivamente hasta el hierro. La dinámica de esta nueva nucleosíntesis —ahora estelar— tardó en ser comprendida, destacando a este respecto los artículos que firmaron en 1948 George Gamow, Ralph Alpher y Robert Herman, y en 1957 Margaret y Geoffrey Burbidge, William Fowler, Fred Hoyle y Robert Wagoner, quienes provistos de un nutrido conjunto de datos de reacciones nucleares explicaron cómo se sintetizaron tales elementos en las estrellas, a la vez que resolvieron problemas no triviales del tipo de por qué en el universo el litio constituye una pequeña fracción (10-8) de la masa correspondiente al hidrógeno y al helio, mientras que el total de los restantes elementos representa un mero 10-11. Semejante logro, en el que, como siempre ocurre en ciencia, aún quedan lagunas por rellenar, ha sido uno de los grandes éxitos de la física nuclear. No es extraño, por consiguiente, que el Premio Nobel de Física de 1983 lo recibiese William Fowler, «por sus estudios teóricos y experimentales sobre las reacciones nucleares de importancia en la formación de los elementos químicos del universo», compartido con Subrahmanyan Chandrasekhar, «por sus estudios teóricos sobre los procesos físicos de importancia en la estructura y evolución de las estrellas». Lo que sí sorprende es que se dejase de lado a Fred Hoyle, quien lideró junto a Fowler los trabajos sobre nucleosíntesis estelar. Tal vez era considerado demasiado iconoclasta, tanto que hasta negó la existencia de un Big Bang, nombre que él mismo acuñó creyendo que así ridiculizaría la teoría, ya que prefería un universo que siempre hubiera existido.

Nada en el cosmos es inmutable y eterno y, al igual que sucede con nosotros, contingentes organismos biológicos, las estrellas también cambian: nacen, se desarrollan y mueren. Así sucede con las denominadas «supernovas», estrellas tan masivas que no es posible que se detenga el proceso de contracción gravitacional que tiene lugar en su interior, produciéndose así una violenta explosión, en la que se difunden por el espacio los elementos pesados fabricados su interior mediante nucleosíntesis estelar. Además de expulsar los elementos que la estrella albergaba (salvo una parte que retiene convertidos en objetos muy peculiares, como estrellas de neutrones), en esos estallidos se sintetizan elementos más pesados

que el hierro, como el cobre, cinc, rubidio, plata, osmio, uranio, y así hasta una parte importante de los elementos químicos que existen.

Esos escombros cósmicos son los que han dado origen, mediante procesos de agregación gravitacional, a otros cuerpos celestes, entre

ellos a planetas como la Tierra. Y, obviamente, a todo lo que estos contienen, incluyendo la vida que puedan albergar. Y por eso decimos que somos polvo de estrellas. En un sentido nada metafórico, todos hemos estado en el interior de una estrella y hemos realizado un largo —en el espacio y en el tiempo— viaje por el cosmos. Es algo que impresiona.

Nuestros cuerpos están formados por unos sesenta elementos químicos diferentes, pero son cuatro, hidrógeno, oxígeno, carbono y nitrógeno, los que aparecen en mayor proporción (constituyen en torno al 96 % de nuestros organismos; les siguen en abundancia —menos del 0,5 %— calcio, fosforo, azufre, potasio y cloro). La combinación de hidrógeno y oxígeno, en la forma de dos átomos de hidrógeno por uno de oxígeno, esto es, agua, es la que predomina en nuestro organismo: si nos «exprimieran», como si fuésemos una naranja, entre el 75 % y el 60 % de lo que se obtendría sería agua. En esto no nos diferenciamos mucho de la superficie de la Tierra, cubierta como está en sus tres cuartas partes por agua (por el contrario, en la corteza terrestre los elementos que más abundan son oxígeno, silicio, aluminio y hierro). Y no olvidemos que fue en los océanos primitivos donde surgió la vida. Durante los aproximadamente 4.000 millones de años de su historia (se estima que la Tierra tiene 4.500 años de antigüedad), todos los seres vivos se encontraban en los océanos. Solamente hace entre 500 y 440 millones de años comenzaron algunos organismos a colonizar la tierra, primero plantas sencillas, luego más complejas, y más tarde anfibios y reptiles.

Y si hablamos de vida, ¿cómo se puede caracterizar? Una definición que me gusta es: «Actividad de organismos que contienen información hereditaria reproducible y que son capaces de metabolizar sustancias (alimentarse)». Esa «información hereditaria» es la de una macromolécula, el ácido desoxirribonucleico (ADN), constituido por agrupaciones específicas de cinco elementos químicos: hidrógeno, oxígeno, carbono, nitrógeno y fósforo. ¿Existirán en otros planetas, en otros exoplanetas, otras combinaciones químicas que den lugar a formas diferentes de vida, en la que los elementos no sean estos? ¿Por qué no? Tal vez alguna vez se puedan descubrir y reproducir en un laboratorio terrestre.

2

¿UNO O MUCHOS UNIVERSOS?

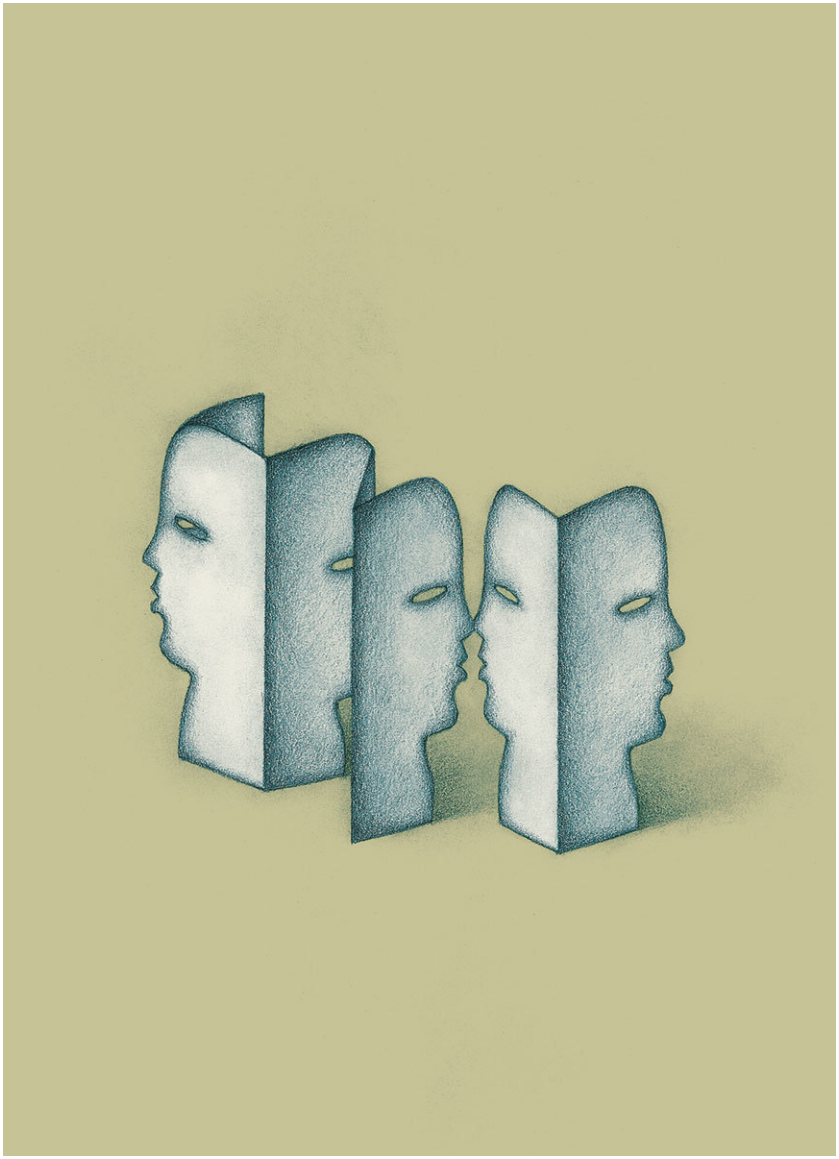
El universo, nuestro universo, existe, sí. Somos prueba y testigos de ello, pero resta aún mucho por conocer de él. En primer lugar, si este universo nuestro es único o existen muchos otros —¿infinitos?—, «escondidos» no se sabe dónde.

La hipótesis de «otros universos» surgió de la que es, junto a la relatividad einsteiniana, la otra teoría (conjunto de teorías en realidad) que revolucionó la física durante el primer tercio del siglo XX: la mecánica cuántica. Los contenidos tanto de la física relativista —las teorías especial y general— como de la cuántica, transcienden a la ciencia, adentrándose en un dominio tan fundamental como es la epistemología, la rama de la filosofía que trata de cómo conocemos. En la base de la mecánica cuántica, tal y como la configuraron en 1925-1926 Werner Heisenberg, Max Born y Niels Bohr, se encuentra un postulado particularmente contraintuitivo: antes de observar un sistema —el que sea— este se encuentra en todos los estados que puede adoptar, esto es, coexisten; pero cuando realizamos una medida los «reducimos» a uno solo de ellos, de cuya manifestación únicamente se puede dar previamente una probabilidad. Es lo que en la jerga de la física se denomina «colapso de la función de onda» (la entidad matemática que describe el sistema). Erwin Schrödinger —otro de los «padres» de la mecánica cuántica— ideó un experimento mental con el que intentó mostrar lo misterioso de semejante situación: el famoso «gato de Schrödinger». Sin embargo, uno de los problemas con este experimento es que se refiere a un objeto macroscópico, el gato, y acaso el «desdoblamiento intrínseco cuántico» se pierda al pasar de lo micro a lo macro.

Para evitar que las varias realidades cuánticas preexistentes desaparezcan misteriosamente cuando se realiza una observación

(una medida), un joven físico estadounidense, Hugh Everett III (1930-1982), propuso mientras preparaba su tesis doctoral (1957) en la Universidad de Princeton que las otras posibilidades, los restantes estados, no desaparecen, sino que el universo se ramificaba en tantos otros universos como posibilidades. Desde este punto de vista, el «universo» no es una única entidad sino que es como un árbol de prácticamente infinitas ramas, continuamente desdoblándose. Y nosotros, los observadores, con ellos. Yo, usted, nos desdoblamos continuamente; continuamos existiendo pero en versiones con historias diferentes; de ahí «muchos universos», «multiuniverso» o «universos paralelos».

Me resulta atractiva esta idea y no me extrañaría que algún día se hallasen evidencias de su existencia; mientras tanto, no pasa de ser una mera posibilidad, una propuesta que resuelve algunos problemas, a costa de generar otros. Que me resulte atractiva no es sino consecuencia de mi perplejidad ante la existencia del universo. Lo que este contiene y cómo se ha organizado ese contenido, me extraña menos… una vez que acepto que las leyes de la física son las que son —y esto también es misterioso: ¿por qué existen, por qué tienen la forma que tienen?—, las que vamos encontrando. Mi pobre mente humana no puede entender por qué existe el universo, y puestos a admitir que, efectivamente, existe, ¿por qué tendría que ser único? Además, la realidad de muchos universos abriría la posibilidad de que se realizaran otras potencialidades que en el nuestro están vetadas: otras leyes de la física, otros elementos químicos, otros organismos vivos, por ejemplo. ¿Por qué habrían de estarlo? Nótese que hablo de «perplejidad», no de «cuál es el sentido de…», cuestión que en mi opinión se encuentra contaminada por nuestras razonables, pero muy personales, ansias de transcendencia y supervivencia.



Si en realidad nuestro universo fuese uno entre muchos otros, es imaginable pensar que nuestra existencia, y la de otros organismos vivos (lo mismo en la Tierra y con gran probabilidad en planetas —exoplanetas— de otros sistemas solares), se debería a que lo permiten las leyes de la física que rigen en este particular universo nuestro. Si, por ejemplo, la fuerza de la interacción

electromagnética fuese algo distinta de lo que es, los átomos no serían estables; simplemente una diferencia del 4 % con la fuerza actual impediría todas las fusiones nucleares en el interior de las estrellas, y por consiguiente no habrían existido los elementos químicos —carbono, potasio, hierro, etc— que entran en la composición de nuestros cuerpos. Y otro tanto sucede con la interacción gravitacional: si fuese más intensa, entonces seres como nosotros no podrían existir: sucumbiríamos aplastados en la superficie de los planetas, que a su vez tendrían tamaños diferentes, más pequeños. Y si, por el contrario, fuera menos intensa, podría ser que la atracción entre masas no fuera suficiente para que se formasen estrellas y planetas. En otras palabras, las fuerzas que existen en nuestro universo están ajustadas con la precisión necesaria para que sean posibles seres como los humanos (y, por supuesto, muchos otros). Algunos científicos utilizaron la existencia de semejante «ajuste fino» para formular el denominado «Principio antrópico», que se puede enunciar como sigue: «El mundo es como es porque en caso contrario no existirían seres que se preguntaran por qué es así».

Yo me encuentro entre quienes consideran que este principio no aclara nada, que evade explicar el porqué de ese ajuste fino. La teoría de los Muchos Universos, constituye una posible respuesta, si no se acepta, y a salvo de mejores ideas (que siempre pueden llegar), ¿qué queda, recurrir a un Dios? Como dijo el astrofísico Bernard Carr: «Si no quieres un Dios, mejor un multiuniverso». Y después de décadas en las que la idea de Everett quedó prácticamente recluida al baúl de los olvidos, ya son muchos hoy los adeptos a esta idea. Uno de los que se la toman en serio es el físico del Instituto Tecnológico de California, Sean Carroll, que en uno de sus libros escribió: «La formulación de universos paralelos ofrece una visión de la mecánica cuántica que es simple y elegante en sus aspectos básicos pero que, además, parece bien adaptada para ajustarse a la búsqueda en curso de una comprensión de la teoría cuántica de campos y de la naturaleza del espacio-tiempo. Esto me basta para convencerme de que tendré que aceptar la incomodidad de esas otras copias de mí que se producen continuamente».

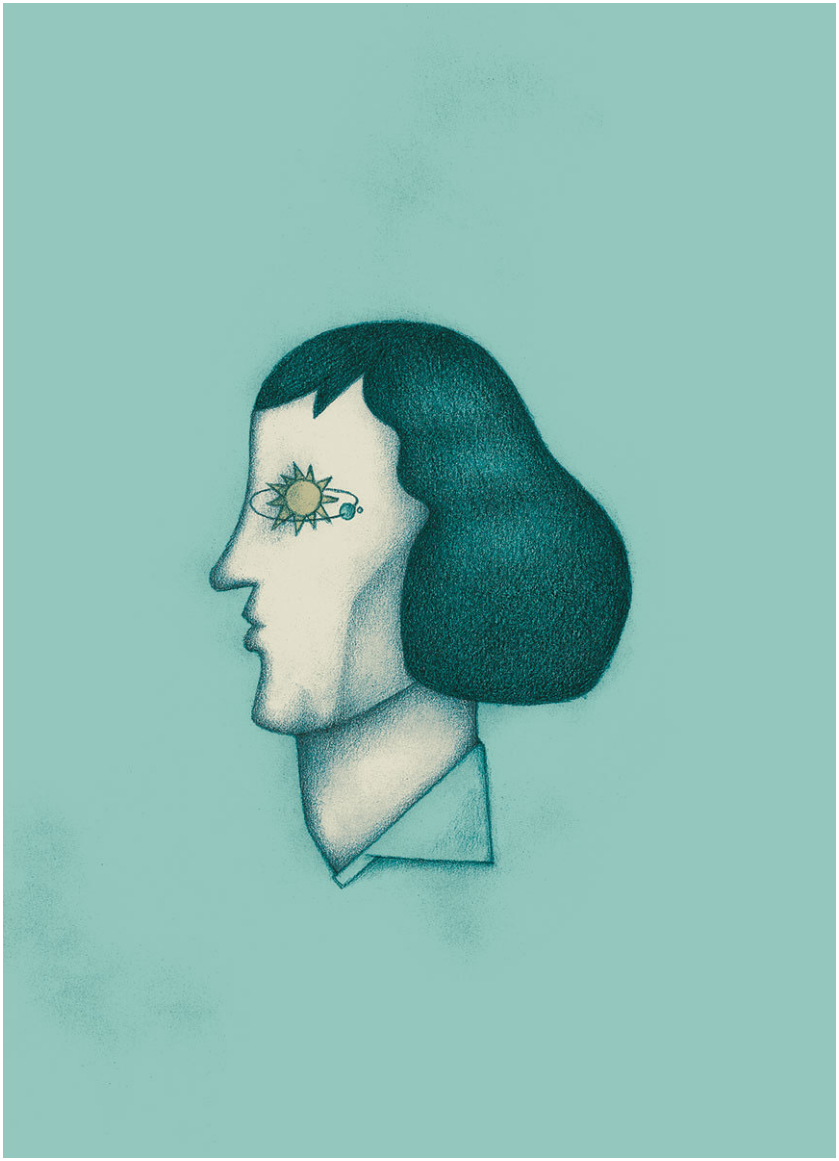
3

COPÉRNICO

Si realmente existen muchos universos, entonces se habrá dado otro paso adelante en lo que podría denominarse «Gran Descentralización», en apartarnos, a nosotros, los humanos, y al planeta que nos alberga, la Tierra, del centro «de todo». El primer paso en tal dirección, y que terminó implantándose en la ciencia astronómica, lo dio Nicolás Copérnico (1473-1543), quien sostuvo que no es la Tierra la que ocupa el centro del universo —del pequeño universo de que se tenía constancia en su tiempo, constituido por el Sol, Mercurio, Venus, la Tierra, la Luna, Marte, Júpiter, Saturno y la esfera de las «estrellas fijas»—, sino que lo ocupa el Sol (heliocentrismo). Con anterioridad, y durante más tiempo que el que nos separa a nosotros de Copérnico, se supuso que la Tierra se encontraba en el centro del universo (geocentrismo), una visión que encontró su exposición más acabada en un libro que conocemos por el nombre que adoptó al ser traducido en el Islam: Almagesto (El más grande), de Claudio Ptolomeo (c. 100-170).

Copérnico defendió su propuesta en un libro cuya memoria conservará la humanidad mientras exista: De revolutionibus orbium coelestium (Sobre las revoluciones de los orbes celestes). Fue publicado el mismo año que falleció su autor, y aunque se suele afirmar que llegó a tener en su lecho de muerte un ejemplar (una historia muy melodramática), yo no estoy seguro de que esto llegase a suceder, porque falleció el 24 de mayo de 1543, mientras que el libro apareció a mediados de abril, impreso en Núremberg. Y Copérnico era canónigo en la catedral de Frauenburg —en la actualidad, Frombork, en el norte de Polonia—, que dista de la localidad alemana aproximadamente mil kilómetros. La razón de que se publicase en Núremberg tiene que ver con la disponibilidad de imprentas adecuadas para producir un texto tan complejo como

aquel, con un gran número de tablas matemáticas. En realidad, el libro pudo muy bien no haberse publicado, ya que Copérnico no parecía estar demasiado interesado en dar a conocer sus trabajos con detalle. Si llegó a ver la luz fue gracias a Georg Joachim Rheticus, que había estudiado en la Universidad de Wittenberg, donde probablemente uno de sus profesores, Johann Schöner, le habló de Copérnico y de sus ideas, de las que acaso sabía por haber visto una copia de un breve manuscrito, conocido como Commentariolus, en el que Copérnico exponía su tesis sobre los movimientos celestes. Se trata de una obra que jamás se publicó; solamente circularon algunas copias manuscritas (no se sabe cuántas): apareció un primer ejemplar en la Biblioteca Imperial de Viena en 1877, y poco después, en 1881, se encontró otra copia en la biblioteca del Observatorio de Copenhague, mientras que una tercera apareció en 1962, en la biblioteca del King's College de Aberdeen (Escocia).



Pero volvamos a Rheticus, quien en 1539 se encaminó hacia Frauenburg con el propósito de visitar al canónigo aficionado a la astronomía, quien por entonces tenía ya sesenta y seis años. Iba a ser una visita breve, pero se extendió más de dos años al ganarse la confianza de Copérnico, que llevaba años componiendo un texto mucho más extenso y ambicioso que el Commentariolus. Con el

estímulo de Rheticus, Copérnico completó el tratado y dejó a su visitante la tarea de cuidar de la edición. El resultado fue De revolutionibus, un libro muy codiciado: se conocen 277 ejemplares de esa primera edición, de los que en España existen 9; tuve en mis manos, brevemente, uno de ellos, el de la biblioteca del monasterio de El Escorial, con el escudo de armas de Felipe II.

En 1626 el ejército sueco invadió el norte de Polonia durante la guerra de los Treinta Años; en el botín que tomaron estaban libros de la catedral de Frauenburg, entre ellos la mayor parte de la biblioteca personal de Copérnico, junto con otros que utilizó pero que pertenecían a la catedral. Terminaron todos en la biblioteca de la Universidad de Upsala. Aunque el despojar a otros de sus propiedades nunca debe ser ensalzado, en alguna medida el traslado de los libros de Frauenburg a Upsala fue afortunado porque aseguraron la conservación de un legado muy valioso, ya que muchos tesoros culturales polacos se perdieron en siglos posteriores durante saqueos de otros ejércitos no tan cuidadosos en este aspecto como los suecos. Hace ya bastantes años tuve el privilegio de que me mostraran un componente de aquel botín: un ejemplar de la primera edición de De revolutionibus. El bibliotecario que me atendió se detuvo en el «Prefacio» que añadió el teólogo protestante Andreas Osiander, quien se encargó de la corrección de las pruebas finales del libro, y que incluyó sin que lo autorizase Rheticus. Este «Prefacio» aparecía sin firma, por lo que era inevitable asumir que se debía a Copérnico. En él se decía: «no espere nadie, en lo que respecta a las hipótesis, algo cierto de la astronomía, pues no puede proporcionarlo». Al decir esto era razonable pensar que, en realidad, Copérnico no creía en el sistema heliocéntrico, sino que lo utilizaba como un mero instrumento de cálculo, lo que no era cierto. En la copia que yo vi en Upsala, las páginas del prefacio de Osiander estaban marcadas con una gran cruz roja, seguramente obra del propio Rheticus, enfurecido al leer aquello. Todavía revivo la emoción que sentí entonces.

¿Por qué incluyó Osiander esa nota? ¿Acaso porque creía realmente que las matemáticas no son más que un instrumento para describir la naturaleza, incapaces de revelar su verdadera esencia?, ¿o más bien temía la reacción de la Iglesia (católica o protestante)? Recordemos que Lutero no valoraba mucho ni a Copérnico ni a sus

ideas; en una de las observaciones que incluyó en sus Tischreden, fechada el 4 de junio de 1539, y aludiendo al ya mencionado Commentariolus, aludía a «un astrólogo advenedizo que pretende probar que es la Tierra la que gira, y no el cielo, el firmamento, el Sol o la Luna. Este loco echa completamente por tierra la ciencia de la astronomía, pero las Sagradas Escrituras nos enseñan que Josué ordenó al Sol, y no a la Tierra, que se detuviese». En cuanto a la Iglesia católica, lo único seguro es que De revolutionibus no suscitó la inmediata y violenta reacción que, algo menos de un siglo después, produciría el Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo, Tolemaico e Copernicano (1632) de Galileo.

4

GALILEO EN NUESTRA MEMORIA

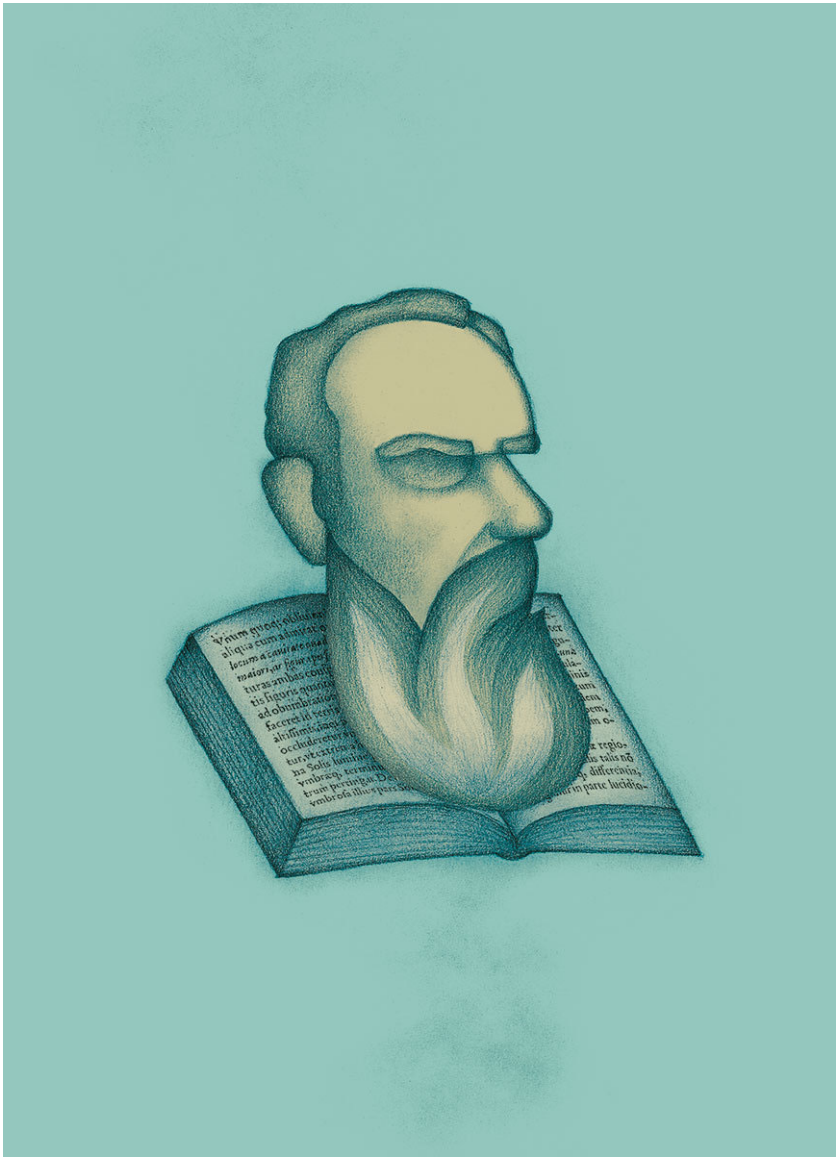
Podría haber sido músico: se dijo de él que era capaz de competir con los mejores laudistas de la Toscana. También filósofo (los escritos de Aristóteles no tenían secretos para él), y en buena medida lo fue, como también fue inventor; incluso artista de la pluma o del pincel, habilidades de las que no careció. Pero terminó siendo científico: físico, matemático y astrónomo. Me refiero a Galileo Galilei (1564-1642), al que aludí al final del capítulo precedente.

No fue él quien nos enseñó que es la Tierra la que gira alrededor del Sol; semejante honor recayó, como acabamos de ver, sobre Nicolás Copérnico, pero si la visión heliocéntrica triunfó fue sobre todo gracias a Galileo. No llegó a las alturas en las que se instaló Isaac Newton años más tarde, pero con algunas de sus investigaciones preparó el camino para la obra de este. Nos legó, además, algo especialmente valioso: el método científico moderno, en el que la experimentación, la cuantificación de las medidas, y la teorización se conjugan en una forma tan delicada como profunda.

Pero en la ciencia los métodos necesitan encarnarse en aportaciones concretas. Y Galileo lo logró, y ascendió por primera vez a esa peligrosa cima que es la notoriedad pública, al analizar con sagacidad interpretativa las observaciones que realizó con un instrumento del que, a comienzos del verano de 1609, escuchó que habían ideado unos ópticos holandeses: el telescopio. Construyó uno manipulando diversas lentes, y regaló otro al Gobierno veneciano, del que dependía como profesor en la Universidad de Padua. No sé si pensó inmediatamente en apuntar con su nuevo instrumento a los cielos, pero lo que sí es un hecho es que el 24 de agosto de ese mismo año escribía al dux de Venecia ofreciéndole «un nuevo artificio consistente en un anteojo extraído de las más

recónditas especulaciones de perspectiva, el cual pone los objetos visibles tan próximos al ojo, presentándolos tan grandes y claros, que lo que se encuentra a una distancia de, por ejemplo, nueve millas, se nos muestra como si distase tan solo una milla, lo que puede resultar de inestimable provecho para todo negocio y empresa marítima». Está claro, Galilei quería ganar más dinero y vio en el telescopio un magnífico medio para atraer la atención de sus patronos. Pero era un científico de pura cepa y también dirigió su telescopio hacia el cielo. Y lo que vio allí cambió para siempre nuestra manera de entender el universo. Observó que la superficie de la Luna era accidentada, y no lisa como se suponía en el modelo geocéntrico. Y que cuatro lunas orbitaban en torno a Júpiter y no alrededor de la Tierra. Presentó sus observaciones en un breve libro —que escribió en latín—, su primera obra importante, Sidereus nuncius (1610).

Aquellas observaciones dieron a Galileo notoriedad en el pequeño mundo de los astrónomos y filósofos de la naturaleza. Pero la fama es una navaja de dos filos. Poco después de la aparición de Sidereus nuncius fue denunciado por manifestarse en contra de las Sagradas Escrituras. Que la Tierra se moviese planteaba graves problemas teológicos; en la Biblia, recordemos, se puede leer: «Y el sol se detuvo, y se paró la luna». Y ¿cómo podría detenerse el Sol si no se movía? El 26 de febrero de 1616, el cardenal Bellarmino amonestó a Galileo y fue informado de «que se abstuviera de enseñar, defender o incluso discutir el copernicanismo». Y Galileo se comportó como se le exigía… hasta casi tres lustros después, cuando creyó que la situación político-religiosa le favorecía (el acceso al pontificado, como Urbano VIII, del cardenal Barberini, que había sido uno de sus defensores) y podía expresarse más libremente. Consecuencia de aquel, a la postre error de juicio, fue un libro que vio la luz en febrero de 1632: Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo, Tolemaico e Copernicano, una obra maestra de la literatura científica, escrita en lengua vernácula, el italiano. Los tres personajes creados por Galileo para protagonizar ese diálogo, Salviati (copernicano), Sagredo (neutral) y Simplicio (aristotélico), han pasado a formar parte de la cultura universal, de la misma manera que lo han hecho otros personajes de la literatura universal.



En el Dialogo no están resueltos todos los problemas científicos que planteaba la nueva forma, copernicana, de mirar y entender la naturaleza, pero se sentaban las bases para hacerlo. No es extraño, por consiguiente, que los enemigos de Galileo recordaran el edicto de 1616 y lograran que se pusiera en marcha un proceso en su

contra. El resultado es bien conocido: atemorizado ante el tormento físico que la Inquisición terminaba aplicando a los que se resistían, Galileo abjuró, negó que creyese en el copernicanismo. Las palabras que pronunció entonces, el 22 de junio de 1633, resuenan y resonarán, dolorosas, mientras los humanos valoren el recuerdo del pasado: «Yo, Galileo Galilei […] de setenta años de edad […] juro que siempre he creído, creo ahora y que, con la ayuda de Dios, creeré en el futuro todo lo que la Santa Iglesia Católica y Apostólica mantiene, predica y enseña».

Dicen que tras su retractación, manifestó: «Eppur si muove» («Sin embargo, se mueve»). No lo creo. Pero aun suponiendo que fuese así, y recordando que fue mucho mejor tratado que otros procesados (se le permitió instalarse en una villa que poseía en Arcetri, no lejos de Florencia), lo único cierto es que fue humillado, que la verdad científica fue escarnecida, y que permaneció confinado hasta su muerte. Pese a todo, en Arcetri consiguió finalizar su otro gran libro, Discorsi e dimostrazioni matematiche, intorno à due nuove scienze attenenti alla mecanica e i movimienti locali, que vio la luz en 1638 en Ámsterdam. Mientras que el Dialogo fue, en cierto sentido, el producto explosivo de una circunstancia inesperada, una serie de observaciones propiciadas por la invención del telescopio, los Discorsi fueron el fruto maduro de toda una vida de estudios sobre el movimiento, que incluye esa joya que es la ley de la caída de los cuerpos. Le debemos a la Inquisición y al papa Urbano este regalo inapreciable, uno de los pilares sobre los que se asentaría la física de Newton.

Sin embargo, no faltaron, en su tiempo al igual que después, los que pensaron, los que piensan, que con su abjuración Galileo les había traicionado. En su conmovedora obra de teatro, Vida de Galileo (1939), Bertolt Brecht se detuvo en este punto. Uno de los protagonistas, Andrea, el hijo de su casera y uno de sus discípulos, dice: «Lo mismo que el hombre de la calle, nosotros nos dijimos: Morirá, pero no se retractará […]. Usted volvió y dijo: me he retractado pero viviré […]. Tiene las manos sucias, dijimos nosotros […]. Usted dijo: más vale manos sucias que vacías». Y poco después, Andrea manifiesta, esperanzado: «Ganó tiempo para escribir una obra científica que solo usted podía escribir. Si hubiese acabado en la hoguera con una aureola de fuego, los otros habrían

sido los vencedores». No pensaba lo mismo el Galileo de Brecht, quien confiesa: «Me retracté porque temía el dolor físico». «Entonces, ¿no fue un plan?», pregunta Andrea. «No lo fue», responde Galileo.

En cualquier caso, ¡qué triste!

5

ISAAC NEWTON: CIENCIA Y RELIGIÓN

He tratado de Copérnico y de Galileo; podría y seguramente debería haberlo hecho detenerme también en Johannes Kepler (1571-1630), otro de los filósofos de la naturaleza que configuraron la visión del universo que se estableció durante la denominada Revolución Científica, época durante la cual, a lo largo de los siglos XVI y XVII, se establecieron las bases de la ciencia moderna. Pero lo que sería inexcusable es dejar de lado a Isaac Newton (1643-1727), para muchos, entre los que me encuentro, el científico más importante de la historia. Sus contribuciones a la matemática y a la física permanecerán a lo largo del tiempo como un monumento imperecedero a la creatividad humana. Es cierto que algunas de esas contribuciones —como sus tres leyes de la mecánica y su teoría de la gravitación, que presentó en uno de los libros más transcendentales de la historia, Philosophiae naturalis principia mathematica (1687)— han mostrado ya sus límites, pero aun con semejantes cortapisas continúan y continuarán utilizándose para un amplio rango de fenómenos y dominios. Otras, sin embargo, como su cálculo diferencial, mantienen y mantendrán, aunque sea con ropajes diferentes a los que él empleó, su validez. Y, en cualquier caso, si vinculásemos de manera indisoluble la grandeza científica a la permanencia sempiterna de las aportaciones de los científicos, ¿quién desafiaría el paso del tiempo? ¿o no es la empresa científica, casi por definición, mientras no se demuestre lo contrario, el esfuerzo continuo por superar las inevitablemente limitadas teorías vigentes?

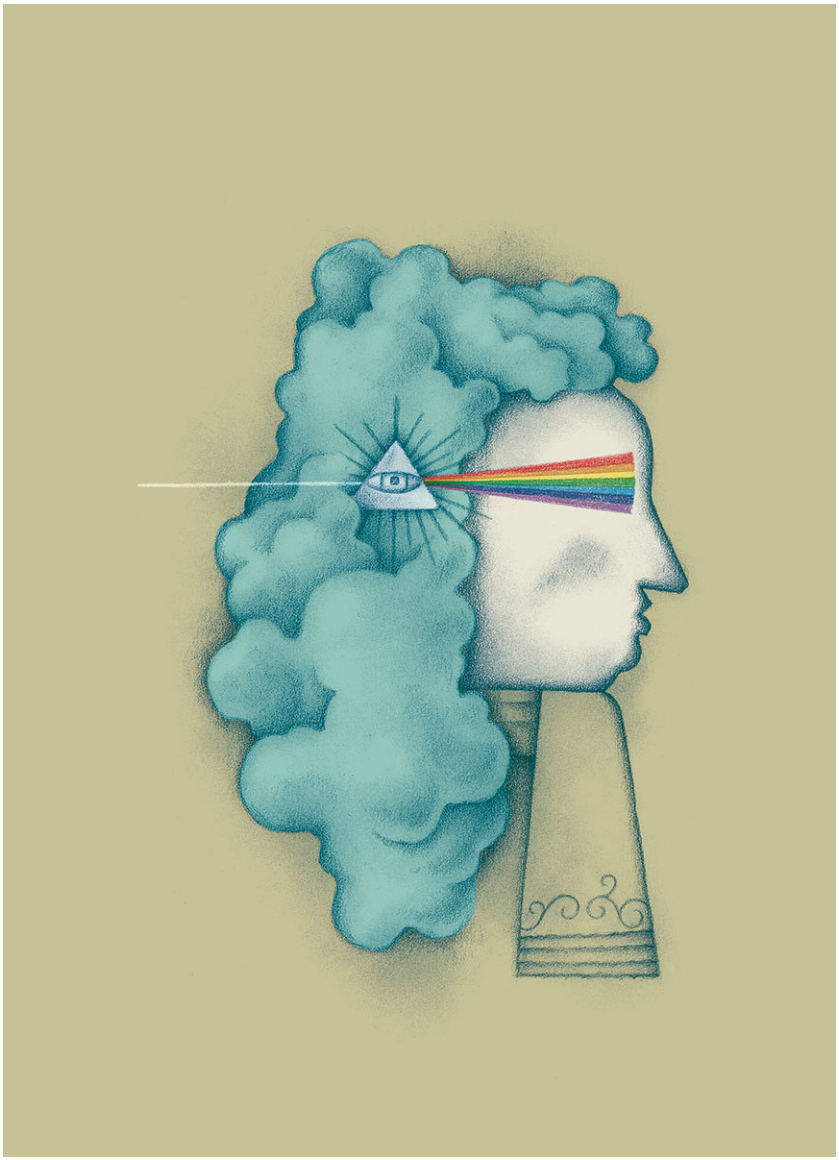
Newton fue, en definitiva, un gigante, un Grande entre los Grandes, tal vez el Grande entre los Grandes, circunstancia que sin duda añade interés en lo que a conocer su biografía se refiere. ¿Cómo fue su vida? ¿Monótona y circunspecta? ¿Caracterizada única o básicamente por el deseo de crear y desarrollar teorías científicas,

por imaginar y demostrar teoremas, por encontrar leyes que describiesen los fenómenos naturales, por un ensimismamiento en la práctica científica? No, la vida de Isaac Newton no responde en absoluto a semejante patrón. Fue un hombre complejo, muy complejo; con una personalidad egocéntrica, que bien podría calificarse a menudo como rayana en lo patológico. Cruel en ocasiones. Desmesurado en cualquier caso. ¿Tienen que ser los genios así? ¿Poseer algún tipo de «anormalidad», comparado con el común de los mortales, que, por supuesto, no se acerca ni de lejos a producir lo que el genio crea? La respuesta a semejante pregunta es definitivamente negativa. Charles Darwin también fue un genio, y en modo alguno compartió los rasgos que acabo de mencionar de su ilustre compatriota. Tampoco Albert Einstein.

¿Tuvo algo que ver la época, los siglos XVII y XVIII, en los que vivió, para explicar su polémico carácter? Para explicar todo su carácter, no, pero tal vez sí parte de él. La Era de la Revolución Científica en la que vivió Newton favorecía ciertos tipos de comportamientos, como el defender apasionadamente los resultados propios, algo que a su vez conducía al secretismo. Las polémicas, agrias polémicas donde las haya, que mantuvo Newton con Hooke, Leibniz o Flamsteed debieron mucho a la necesidad que sentían los filósofos naturales de la Revolución Científica de defender lo propio. Era una necesidad obligada en buena medida, porque entonces no existían apenas instrumentos para asegurar la paternidad de un resultado científico; fue entonces, no lo olvidemos, cuando comenzaron a crearse algunos de esos instrumentos, como las revistas científicas.

Habida cuenta de la ciencia que produjo, del rigor y detalle de las teorías que creó, Newton ha sido considerado habitualmente ejemplo paradigmático de la racionalidad, del espíritu que voluntariamente se nutre de lo que es posible observar. De hecho, él llegó a tal extremo de, podríamos decir, positivismo que en su libro de 1687, abreviadamente conocido como «los Principia», incluyó la frase: «Hypotheses non fingo», «No hago hipótesis», con lo que quería decir que las leyes de la física que había descubierto eran consecuencias inevitables de los hechos observados. Se equivocaba, por supuesto. Pero lo que ahora me interesa explicar es que esta imagen de Newton, la del científico analítico y racional por

antonomasia, no se corresponde con la realidad. Este Newton coexistió con otro, uno que se dedicó con energía a explorar profundas cuestiones religiosas y teológicas. En realidad, no es correcto hablar del «otro Newton», ya que existió una unidad conceptual y metodológica entre el Newton científico y el Newton teólogo. Veamos, muy esquemáticamente, algo de esta faceta newtoniana.



En un espléndido ensayo, el mundialmente famoso economista John Maynard Keynes (1883-1946), en su tiempo un gran estudioso newtoniano, se refirió a Newton como el «último de los magos, el último de los babilonios y de los sumerios; la última de las grandes mentes que contemplaron al mundo visible e intelectual con los mismos ojos de aquellos que empezaron a construir nuestra heredad

intelectual, hace casi diez mil años». Aunque semejante caracterización contiene elementos inaceptables —Newton introdujo en el análisis de los fenómenos naturales un método radicalmente nuevo; un método que si ya le distinguía de sus predecesores más cercanos (como Galileo, Descartes o Kepler), más le separaba aún de todos aquellos que habían empezado, milenios antes, a «construir nuestra heredad intelectual— la caracterización de Keynes contiene algo de verdad, tocando la esencia del pensamiento del catedrático de Cambridge. Este elemento de verdad se aprecia con mayor claridad cuando, más adelante en su ensayo, Keynes explicaba los calificativos que había aplicado a Newton: «¿Por qué lo llamo mago? Porque contemplaba al universo y todo lo que en él se contiene como un enigma, como un secreto que podía leerse aplicando el pensamiento puro a cierta evidencia, a ciertos indicios místicos que Dios había diseminado por el mundo para permitir una especie de búsqueda del tesoro filosófico a la hermandad esotérica. Creía que una parte de dichos indicios debía encontrarse en la evidencia de los cielos y en la constitución de los elementos (y esto es lo que erróneamente sugiere que fuera un filósofo experimental natural); y la otra, en ciertos escritos y tradiciones transmitidos por los miembros de una hermandad, en una cadena ininterrumpida desde la original revelación críptica, en Babilonia. Consideraba al universo como un criptograma trazado por el Todopoderoso».

Ahora bien, Newton —un hereje arriano que no creía en la Santísima Trinidad, él que era miembro del Trinity College de Cambridge (mantuvo en secreto sus ideas religiosas); su Dios era único— pensaba que ese «criptograma» había sido corrompido por deformaciones e idolatrías introducidas en el pasado; consecuentemente, la religión verdadera solamente se podía llegar a conocer sumergiéndose en el mundo de los antiguos. La búsqueda de aquel conocimiento primordial no contaminado constituyó el gran objetivo de la vida de Newton, dedicándole más tiempo y esfuerzos que a sus investigaciones científicas, que por otra parte también participaban de sus preocupaciones religiosas. En este aspecto, Newton era un hombre de su tiempo, ya que el camino que había conducido desde el monoteísmo primitivo hacia la idolatría constituía uno de los temas favoritos para los historiadores de los siglos XVII y XVIII que se ocupaban de las primeras épocas de la

humanidad.

Newton, el científico modélico, defendía que la ciencia, la filosofía natural, debía considerarse como un buen instrumento, aunque no definitivo, en la búsqueda del «conocimiento de la causa primera», que no era otra, por supuesto, que Dios, su Dios. Aparentemente, este propósito le guio incluso en la composición de los Principia: en una carta que escribió el 10 de diciembre de 1692 a Richard Bentley, a quien se debe el que Newton autorizara la publicación de una segunda edición de los Principia (1713), señalaba que «cuando escribí mi tratado acerca de nuestro Sistema [los Principia], tenía puesta la vista en aquellos principios que pudiesen llevar a las personas a creer en la divinidad, y nada me alegra más que hallarlo útil a tal fin». Aunque, claro, una cosa es expresar, a posteriori, semejante declaración de principios, y otra, muy diferente, aceptar que el contenido de los Principia se vio condicionado, o guiado, por las ideas o percepciones religiosas de Newton.

Cuando se analiza el contenido de los Principia nos encontramos con Newton el científico, el físico y el matemático, no con el teólogo. Rastros de este último aparecen en muy escasos lugares. En dos, de hecho. El primero es una breve referencia, y no demasiado afortunada, a Dios en uno de los corolarios a la proposición VIII, teorema VIII, del libro tercero («El sistema del mundo», que contiene la teoría de la gravitación universal) de la primera edición de los Principia. Se lee allí: «Por tanto Dios situó a los planetas a diferentes distancias del Sol para que cada uno, según el grado de densidad, disfrutase de un grado mayor o menor de calor solar». Sin embargo, en la segunda edición Newton eliminó esta nota. Como si tratase de compensar esa pérdida teológica en los Principia, en la segunda edición decidió cerrar su gran monografía con unas páginas dedicadas a la «divinidad». Se trata del célebre «Escolio general», en el que Newton pretendía poco menos que definir a Dios: «Es eterno e infinito, omnipotente y omnisciente, es decir, dura desde la eternidad hasta la eternidad y está presente desde el principio hasta el infinito: lo rige todo; lo conoce todo, lo que sucede y lo que puede suceder. No es la eternidad y la infinitud, sino eterno e infinito; no es la duración y el espacio, sino que dura y está presente. Dura siempre y está presente en todo lugar, y existiendo siempre y en todo lugar, constituye a la duración y al

espacio».

6

AGUA, BENDITA AGUA

El agua, esa combinación de dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno que aparece en forma sólida, líquida y gaseosa en nuestro planeta, es esencial para la vida, al menos para el tipo de vida que conocemos. Aunque todavía existen incógnitas acerca del origen de la vida, estamos razonablemente seguros de que surgió hace en torno a 4.000 millones de años en un medio con agua en estado líquido, esto es, en los océanos, que cubren más del 70 % de la superficie de la Tierra. Primero fueron las células procariotas, unidades microbianas carentes de núcleo que probablemente surgieron en torno a las fumarolas de agua caliente que emana de las grietas de los fondos marinos. Unos 1.500 millones de años después, tras innumerables combinaciones aleatorias pero no ciegas pues debían respetar las leyes de la química, aparecieron las células eucariotas (con núcleo); y hace poco más de 500 millones de años los primeros organismos pluricelulares, sistemas que actuaban de manera coordinada.

Estamos tan familiarizados con el agua que no nos damos cuenta de las propiedades tan singulares que posee; por ejemplo, dado su peso molecular, en las condiciones que se dan habitualmente en la Tierra y comparando con lo que sucede con el dióxido de carbono, el agua debería ser un gas. Si se da en estado líquido es debido a la capacidad de sus moléculas de formar enlaces de hidrógeno, siendo una de sus consecuencias que su punto de ebullición aumente en alrededor de 40 grados centígrados, alcanzando los 100 grados que conocemos (en condiciones estándar de presión atmosférica). Además, sus propiedades químicas la convierten en un solvente excepcional, lo que favorece la formación de estructuras biológicas tridimensionales, actuando así como «mediador» en muchas de las «sendas» bioquímicas que han conducido a la vida terrestre.

Teniendo en cuenta esto, no es sorprendente que la guía principal en la búsqueda de vida en el universo sea la de «seguir la pista del agua». De hecho, ya sabemos que esta abunda en el universo, sobre todo en estado sólido, como hielo, pero así no actúa como «lubricante» en los procesos moleculares que dan origen a vida.

Aproximadamente el 70 % de la superficie terrestre está cubierta por agua, y fue allí, en esa cuna ancestral, donde «se coció» la vida, donde surgieron las primeras estructuras celulares, probablemente en fuentes hidrotermales existentes en los fondos marinos. A lo largo de millones de años el agua fue el único hábitat de la vida, hasta que hace unos 450 millones de años aparecieron las plantas terrestres, indispensables para que seres anfibios se atreviesen a salir de mares y océanos, iniciando de esta manera una nueva fase en la historia de la evolución, que conduciría, entre otros, a los seres humanos. Y como todo lo vivo, nosotros mantenemos una relación muy estrecha con el agua líquida. Nuestros propios cuerpos están constituidos mayoritariamente por agua: en torno al 75 % cuando nacemos, y aproximadamente el 60 % al hacernos adultos. Necesitamos, es obvio, «rellenar» constantemente ese depósito, pero hay un problema: el agua que necesitamos es agua dulce, no salada y, sin embargo, alrededor del 96,5 % del agua que existe en la Tierra es salada (la contenida en océanos y mares), con solo un 3,5 % de agua dulce, que se halla en escenarios y formas diferentes, siendo la forma más abundante, un 1,7 %, como hielo o nieve permanente en los casquetes polares. Únicamente el 0,025 % del agua que existe es potable.

El agua marina es salada en parte porque procede de la lluvia que cae sobre la tierra, donde erosiona las rocas tomando de ellas pequeñas cantidades de sal y otros minerales. Cuando esa agua llega a los océanos, los minerales, como el calcio, son eliminados del agua mediante procesos biológicos, pero no así la sal, a la que se le añade la procedente de yacimientos de los fondos marinos o de la actividad volcánica. El estudio del origen del agua salada marina constituye uno de los capítulos de la historia de la ciencia menos aireados. Hojeando, por ejemplo, mi vieja edición de la Correspondence and Papers of Edmond Halley (1932) encuentro que el 29 de mayo de 1689, Halley —recordado sobre todo por dar nombre a un célebre cometa; predijo en 1705 que volvería a ser visible desde la Tierra en 1759, como así fue— ya informaba a la Royal Society londinense de que la sal marina y la sal gema (o sal de roca) eran básicamente idénticas, lo que indicaba el origen terrestre de aquella. Y posteriormente defendió la idea de que la salinidad del agua marina podía servir como una especie de reloj para determinar la edad de los océanos y, añadía, subsidiariamente

la de la Tierra. Pero tal reloj no sería muy fiable, ya que hay que tener en cuenta los mencionados depósitos minerales existentes en los fondos marinos.

¿Por qué no nos sirve el agua salada? Por varias razones fisiológicas. En primer lugar, los riñones humanos solo son capaces de eliminar, a través de la orina, una pequeña cantidad de la sal del cuerpo. Se puede producir, en consecuencia, una especie de círculo vicioso: si se bebe agua salada, el cuerpo necesita más agua para diluirla y eliminar la sal que contiene, y el resultado final es que el cuerpo se deshidrata al orinar demasiado. Y si los riñones trabajan mucho, es más fácil que terminen fallando. Las células del cuerpo humano también se ven afectadas: las membranas que las rodean son semipermeables, permitiendo que el agua entre o salga de ellas con cierta facilidad, pero cuando se ingiere agua salada aumenta la concentración de sodio en el exterior de las células (la sal no es sino una combinación de cloro y sodio) y para mantener el equilibrio sale más agua de ellas de lo habitual, lo que hace que las células se encojan. Esto origina problemas de salud, uno de ellos el aumento de la presión arterial, otro que en los músculos se produzcan calambres. Si se preguntan cómo es que sobreviven en el agua salada tantas variedades de animales, la respuesta es que sus células son diferentes a las de los humanos.

Podemos comprender perfectamente lo que el marino perdido del famoso poema, The Rime of the Ancient Mariner de Samuel Taylor Coleridge (1772-1834) decía: «Water, water everywhere, / Nor any drop to drink» («Agua, agua por todas partes, / pero ni una gota para beber»).

7

EL ORIGEN DE LA VIDA

En el primer capítulo ya hice referencia a la vida, a cómo los elementos químicos que la forman habían surgido en el universo. De entre todas las cuestiones científicas que puedo imaginar, dos son a las que querría saber contestar. De hecho, a veces me da por pensar que si yo fuese el Fausto de Goethe y se me presentase Mefistófeles ofreciéndome yo qué sé qué por mi insignificante alma, quizás tendría una posibilidad de que aceptase si me respondiera a esas dos preguntas. La primera, la más importante, es la de cómo llegó a existir el universo. Que hace unos 13.800 millones de años se produjese un Big Bang puede ser suficiente para la ciencia, que se ocupa de verificar si de las hipótesis o teorías que propone se deducen consecuencias comprobables, pero nadie, científico o no, puede dejar de preguntarse: «Sí, pero ¿y antes de ese Gran Estallido, hubo algo? ¿Por qué se produjo?». Íntimamente, no nos basta con que nos digamos: «Desde el punto de vista de la ciencia, no tiene sentido hacerse esa pregunta, ya que el tiempo y el espacio comenzaron a existir entonces».

La otra cuestión, más específica, que desearía conocer es la de cómo se originó la vida en la Tierra. Como apunté en el capítulo precedente, parece que esta comenzó su largo e intrincado camino hace en torno a 4.000 millones de años, fecha obtenida a partir de la datación de los fósiles de bacterias más antiguos encontrados en rocas. Sabemos, por tanto, algo del «cuándo», pero no del «cómo». Uno de los primeros que se plantearon esta cuestión, desde la perspectiva de la química y la física, fue el bioquímico ruso Alexander Oparin (1894-1980), autor de un libro de referencia: El origen de la vida (1924). Sus propuestas se basaban en la suposición de que en la atmósfera de la Tierra primitiva, que asumía formada mayoritariamente por amoníaco, metano, hidrógeno y vapor de agua, se habrían producido una serie de reacciones químicas

estimuladas por la radiación ultravioleta procedente del Sol, las erupciones volcánicas o los rayos generados en las tormentas. Y que por medio de esas reacciones habrían surgido compuestos orgánicos sencillos, precursores de algunos tipos de vida primitiva. Pasaron más de treinta años antes de que se realizasen experimentos fiables que apoyasen esa teoría. Fue Stanley Miller (1930-2007) quien en 1956 simuló el efecto de la radiación ultravioleta en la «sopa primigenia» existente en la Tierra primitiva, al hacer pasar una descarga eléctrica de alto voltaje a través de una mezcla de amoníaco, metano, hidrógeno y agua. El resultado del experimento fue la formación de diversos productos químicos, entre los que se encontraban varios aminoácidos. Y obtener aminoácidos es muy importante, ya que las proteínas, sustancias básicas para la vida, están formadas por cadenas de aminoácidos (existen veintidós tipos básicos de aminoácidos, que contienen carbono, oxígeno, hidrógeno y nitrógeno).

Por supuesto, para desentrañar la trama oculta del origen de la vida, no basta con lo anterior: ni los aminoácidos, ni las proteínas son las piezas biológicas más importantes en lo que podríamos denominar «la cabina de mando» de la vida terrestre. Aun aceptando que procesos del tipo del experimento de Miller fuesen esenciales, debieron producirse también una serie de reacciones químicas que condujeron a la formación de dos tipos de macromoléculas muy especiales: el ácido ribonucleico (ARN) y el ácido desoxirribonucleico (ADN). Pero de lo que quiero tratar realmente ahora es del hecho de si el origen de la vida terrestre fue un fenómeno exclusivamente interno en el que no hubo intervención exterior; o dicho de otra manera, si los elementos orgánicos básicos de los que la vida terrestre surgió proceden de las profundidades del universo.

En el número de la revista Science Advances del 27 de mayo de 2016 se publicó un artículo firmado por treinta y dos científicos, encabezados por Kathrin Altwegg, titulado «Elementos químicos prebióticos —aminoácidos y fósforo— en la cola del cometa 67P/ Churiumov-Guerasimenko». En él se presentaban resultados obtenidos por la sonda espacial de la Agencia Espacial Europea, Rosetta, lanzada el 2 de marzo de 2004 con la doble misión de orbitar alrededor de ese cometa entre 2014 y 2015, y lanzar un

módulo, Philae, para que aterrizase en la superficie (lo hizo el 12 de noviembre de 2014, aunque se posó a un kilómetro de la posición prevista y tuvo problemas de anclaje). Lo importante de este artículo es que en él se anunciaba que uno de los aparatos de Rosetta, un espectrómetro de masas, había detectado, en la tenue atmósfera del cometa, la presencia de un aminoácido, el más pequeño, la glicina, y también de fósforo, un componente esencial del ADN y de las membranas celulares. (Con anterioridad, en 2006, la misión Stardust de la NASA trajo del cometa Wild 2 muestras que parecían indicar la presencia de glicina, pero la evidencia no se consideró concluyente).

Los resultados de Rosetta reavivan el problema del origen de la vida en la Tierra y me traen a la memoria una conferencia que escuché hace mucho tiempo, el 16 de enero de 1978, en el Mathematical Institute de Oxford. La pronunció un científico que admiré mucho y al que llegué a conocer en persona, Fred Hoyle (1915-2001). Se tituló «Cometas, un asunto de vida y muerte». La sala estaba

abarrotada, tan grande era la expectación, y al no encontrar sitio tuve que permanecer de pie. «Lo primero que deseo hacer» —dijo Hoyle apenas comenzar— «es cuestionar que la vida se originó aquí, en la Tierra. Hace veinte años, antes de que se supiera que existen moléculas orgánicas en abundancia en las nubes de gases interestelares, ese era un punto de vista razonable. Hoy, se puede comprender que tiene poco o nada en su favor». Y si entonces ya se disponía de evidencia de la presencia de moléculas orgánicas (e inorgánicas) en el espacio —entre ellas agua y amoniaco—, en la actualidad el número de las que se conocen, en muy diversos tipos de estructuras cósmicas, es mucho mayor. Y dado que algunas de esas estructuras son cometas del Sistema Solar, y como sabemos que en la Tierra joven era frecuente el choque de estos sobre su superficie, acaso sea conveniente replantearse la cuestión del origen de la vida terrestre (y de, al menos, parte del agua existente).

8

RETORNO AL AGUA

Los humanos procedemos de aquellos seres que salieron del agua. Ha sido larga la travesía que mediante los inciertos mecanismos evolutivos ha conducido a los humanos, los Homo sapiens. ¿Volveremos al agua?

Hace tiempo hice un viaje en avión desde San Juan de Puerto Rico a Miami. El día era despejado, ocupaba un asiento de ventanilla y durante un largo rato pude contemplar una serie de pequeñas islas, superficies que apenas parecían aflorar sobre la superficie marina y a las que fácilmente se les podría adjudicar ese manido adjetivo de «paradisíacas». Sus playas de arena dorada y aguas color turquesa asemejaban desde la altura a pinceladas de un maestro del color. Eran parte de las Bahamas, situadas al noreste de Cuba y de la República Dominicana, y la mayoría de ellas no parecían habitadas. Recuerdo que según las iba observando, pensé: «Algún día, no lejano, desaparecerán bajo el mar».

Me viene a la memoria esto al leer la noticia de que en noviembre pasado satélites de la NASA fotografiaron una brecha de 110 kilómetros de largo, 91 metros de ancho y 500 metros de profundidad en una de las tres zonas, en la denominada C (que tiene el tamaño de Escocia), en las que se dividió la gigantesca plataforma de hielo Larsen (nombrada así en honor del explorador noruego Carl Anton Larsen), situada a lo largo de la costa oriental de la Antártida y que en 2004 parecía encontrarse en buen estado de estabilidad. En diciembre la brecha había aumentado 21 kilómetros, quedando unida a la Antártida por tan solo una franja de 20 km de hielo. Si se consuma el desprendimiento, los 5.000 kilómetros cuadrados de Larsen C se convertirán en un imponente iceberg. Las otras dos zonas ya sufrieron cataclismos: Larsen A se desintegró en 1995 y Larsen B lo hizo casi por completo en 2002. Y

se sabe que, por ejemplo, Larsen B no había cambiado en 12.000 años.

No está claro el motivo de estas rupturas, que se han desarrollado a gran velocidad, aunque se supone que tienen relación con el aumento de temperatura de los océanos y de la atmósfera. Y de lo

que no hay duda es de algunas de sus consecuencias: si todo el hielo de Larsen C termina fundiéndose, el nivel global de los océanos terrestres ascenderá unos 10 centímetros. Las plataformas heladas del Ártico y Antártida, que tantos esfuerzos exigieron a la humanidad explorar, y que tantos datos del pasado terrestre albergan aún, están desapareciendo. En el recientemente publicado Artic Report Card (Informe del Ártico), que prepara la Agencia Nacional Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos, se presentan resultados que señalan que la temperatura media de la atmósfera en el periodo de un año que terminó en septiembre de 2016 fue, de lejos, la más elevada desde 1900; que en treinta y siete años de observaciones de la capa de hielo de Groenlandia, solo una vez comenzó el deshielo de primavera más temprano de lo que lo que lo hizo en 2016; y que el océano Ártico es especialmente vulnerable a la acidificación, debido a la menor temperatura de sus aguas frente a las más calientes de más al sur. La acidificación supone una disminución del pH (un índice químico que mide la acidez de una solución acuosa) del agua de mar que se produce por la absorción del abundante dióxido de carbono existente en la atmósfera procedente principalmente de la combustión de productos fósiles (efecto invernadero), y tiene consecuencias funestas para los organismos marinos, al afectar a los ritmos metabólicos y a las respuestas inmunitarias de algunos de ellos, haciendo, asimismo, más difícil la calcificación de los corales, por lo que se debilitan y se hacen más frágiles (esta es una de las causas de lo que se denomina «blanqueo del coral»).

La tan nombrada «globalización» afecta no solo a las personas y a las sociedades en que estas viven, sino también, y para el futuro esto es más importante, a la naturaleza. Ártico y Antártida pueden parecernos lejanos, pero no lo están: lo que sucede allí nos afecta aquí y viceversa. Y lo peor seguramente aún no ha comenzado: de seguir aumentando la temperatura de la atmósfera, es previsible que el permafrost, la capa de hielo permanentemente helada que se halla en las zonas subárticas, como la tundra de Siberia, y ciertas zonas de Alaska, Canadá o Groenlandia, se descongelará, emitiendo enormes cantidades de otro gas de efecto invernadero, el metano.

Si no se toman medidas, los hielos de nuestro amado planeta continuarán transformándose en agua, cubriendo cada vez más

zonas terrestres, como esas islas atlánticas que vi. Ahora bien, desde el punto de vista de la historia de la Tierra, no será una gran novedad. La superficie terrestre está formada en gran parte, cerca del 71 %, por mares y océanos. De hecho, la presencia del agua en grandes cantidades y en los tres estados —líquido, sólido y vapor— distingue a la Tierra de los otros planetas del Sistema Solar. El origen del agua terrestre no está aún claro. Una parte, acaso la mayoría, pudo llegar cuando la Tierra joven sufría un incesante bombardeo de cometas y asteroides, en cuya composición entraba el agua en grandes proporciones (se cree que uno de los procesos por los que aparece el agua en el universo se debe a la producción de vapor de agua al explotar las estrellas). Otra parte pudo surgir como consecuencia de la desgasificación del interior terrestre por las erupciones volcánicas de un planeta entonces en formación.

Y si el deshielo continúa, lo que sucederá es que dispondremos de menos espacio vital cuando aumente sustancialmente el nivel de los océanos. En un sentido metafórico, será como si los humanos, y muchos otros seres, plantas y animales, que ahora pueblan la Tierra, regresásemos al lugar de donde procedemos, a nuestra cuna ancestral, donde surgió la vida, y donde prosperó, evolucionando, durante 3.000 millones de años. Aunque durante mucho tiempo no existió en la atmósfera terrestre una capa de ozono que sirviese de protección ante la nociva radiación ultravioleta procedente del Sol, el agua servía como escudo permitiendo que tuvieran lugar en su seno las reacciones químicas que dieron lugar a organismos «vivos». Y así, se fue pasando de entidades unicelulares a multicelulares. En el denominado periodo Cámbrico, que cubre el rango temporal que va desde hace 542 hasta 488 millones de años, los mares se poblaron de artrópodos, crustáceos, moluscos y de unos animales que poseían espina dorsal longitudinal y un esqueleto cartilaginoso, de los que surgieron los peces, y luego una variedad capaz de vivir tanto en el agua como en la tierra, los anfibios, de los que brotó la cadena que condujo a los mamíferos y, dentro de ellos, a nuestra especie, Homo sapiens.

Tal vez tuviera razón Tales de Mileto cuando, parece, dijo: «El principio de todo es el agua, pues todo es agua y al agua todo regresa».

9

LOS CORALES: COMO EL CANARIO EN UNA MINA

Los mares «ya no son lo que eran»; es esta una frase eufemística para decir que la contaminación que sufren es ya tan grande que para observar su degradación no es preciso dirigirse a lugares en los que, por razones de la dinámica de las corrientes marinas, se concentran basuras de todo tipo, actualmente sobre todo plásticos, por lo que, apropiadamente, son denominadas «islas de plástico». Pero no es este el único tipo de problema. Otra de las alteraciones que están sufriendo los océanos es la subida de la temperatura del agua y el aumento de su acidez, cuyos efectos se pueden observar en los corales como la Gran Barrera de Coral, la cadena de arrecifes de coral y de islas que se extiende, a profundidades de aproximadamente un centenar de metros (esto es, en aguas someras), a lo largo de casi 2.300 kilómetros, desde Papúa Nueva Guinea hasta el sur de Queensland, en Australia.

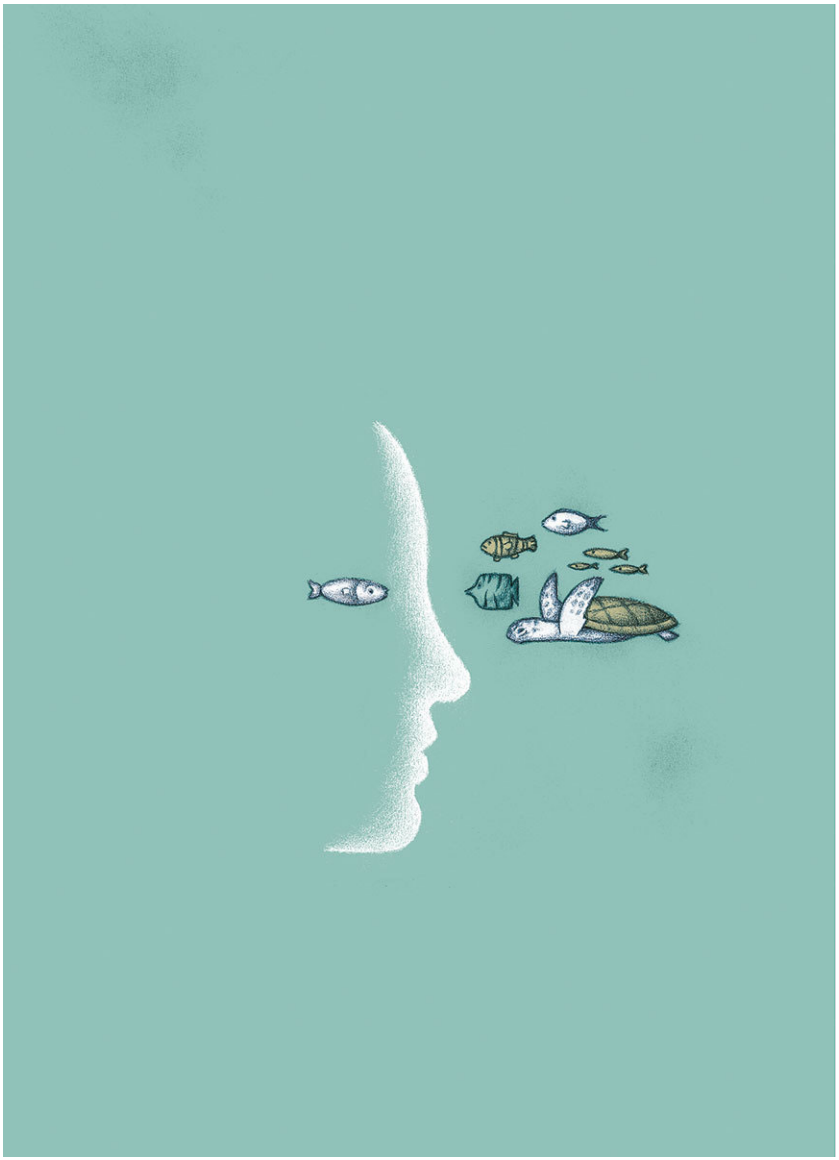
Esta Barrera no es —¿no era?— algo muerto, no son acumulaciones de materiales inorgánicos, sino que está —¿estaba — compuesta de organismos vivos, los corales, en continuo crecimiento, y de los esqueletos —carbonato cálcico— que dejan al morir. Entre las características de los corales de la Barrera destaca la riqueza de los organismos, animales y plantas, que los rodean: algas, anémonas, esponjas, peces, gusanos, estrellas de mar, tortugas, moluscos y crustáceos. Se trata de un sistema ecológico de gran complejidad. Y ocurre lo que sucede con frecuencia con tales ecosistemas: que son muy sensibles a cambios externos.

Manifestación de esa sensibilidad es la relación de los corales con las zooxantelas, unas algas diminutas con las que coexisten simbióticamente. Durante el día, las algas se «alimentan» mediante un proceso de fotosíntesis (convierten materia inorgánica en orgánica gracias a la energía de la luz solar que reciben) pasando

nutrientes y energía a sus huéspedes, los corales; mientras que los pólipos coralinos —pequeños organismos de cuerpo blando de la familia de las anémonas marinas y las medusas, que están provistos de una dura capa protectora calcárea, y que constituyen la base de los arrecifes de coral—, que se alimentan de plancton, proporcionan nitrógeno y fósforo a las microalgas. Pero el simple aumento de 1 grado centígrado en la temperatura del agua rompe esta relación alga-coral: los corales expulsan a las algas, con la obvia consecuencia de que se quedan sin parte de su alimento, debilitándose, además de perder el color que le proporcionaban las microalgas, blanqueándose, como se dice frecuentemente. El resultado, que ya se está produciendo, no se limita a la pérdida de una extensísima «central de reunión» de especies marinas, en tanto que la Gran Barrera también sirve de protección a las costas frente a las tormentas; sin ella, las olas que alcanzan las islas del Pacífico podrían llegar a doblar su altura. Por otra parte, más de quinientos millones de personas dependen de los ecosistemas coralinos para su alimentación y habitabilidad. Me ha impresionado una frase del oceanógrafo australiano Daniel Harrison: «Los corales son como el canario en una mina de carbón»; los canarios mueren al comenzar a disminuir el oxígeno, mientras que la sensibilidad de los corales responde al aumento de la temperatura del agua y de la acidez, entre otros factores. La acidez procede de las aguas de la superficie de los océanos que absorben dióxido de carbono (CO_2) presente, cada vez en mayor cantidad, en la atmósfera; en el agua este forma ácido carbónico (H_2CO_3) que disuelve el carbonato cálcico que constituye el esqueleto de los pólipos coralinos, debilitándolos de esta manera. Y no solo son ellos los que sufren las consecuencias de la acidificación oceánica: muchas de las especies que constituyen el tan necesario plancton marino tienen conchas de calcio, a las que también ataca el ácido carbónico.

La cuestión es ¿se puede hacer algo? ¿Es posible luchar contra el aumento de la temperatura de océanos y mares? Luchar al margen de las criminalmente insuficientes actuaciones generales «en curso» para combatir el cambio climático. Ante esta situación, ha vuelto a aparecer en escena la geoingeniería, esto es, la manipulación (el intento de) a gran escala del clima terrestre para contrarrestar el calentamiento global, una disciplina en la que abundaron ideas bastantes locas y no pocas peligrosas; en 1974, por ejemplo, el

climatólogo ruso Mijaíl Budyko, propuso, para dificultar la llegada de los rayos solares, quemar azufre en la estratosfera para crear una especie de bruma que él mismo describió como «parecida a la que se produce en erupciones volcánicas».



La idea principal que se manejó en el pasado fue la de «sembrar

nubes» difundiendo en la atmósfera sustancias, como yoduro de plata, o hielo seco (dióxido de carbono congelado), en parte con el mismo propósito de Budyko, obstaculizar a los rayos del Sol, pero también con otros fines, como el que mencionaba el periodista Seymour Hersh en sus memorias, Reportero, cuando recuerda que en los tiempos de la guerra contra Vietnam existió en el Pentágono un programa secreto «que tenía que ver con la llamada "siembra de nubes" en el sudeste asiático y cuya finalidad era generar tormentas que dificultaran los movimientos de las tropas enemigas e impidieran el uso de las baterías antiaéreas». A pesar de la, aparente, prohibición del secretario de Defensa, Robert McNamara, en 1967, el Pentágono continuó sembrando nubes hasta finales de 1971.

Una variante que a veces se considera es la de depositar pequeñas partículas de sal (obtenidas del agua marina, que habría que filtrar) en las capas inferiores de las nubes que cubren extensas partes de los océanos; se supone que se formarían entonces nubes de microgotas de agua que incrementarían la capacidad de reflejar la luz solar. Pero uno de los problemas de este posible mecanismo es obvio: sería necesario establecer estaciones extractoras y filtradoras a lo largo de la zona sobre la que se desea actuar, lo que en el caso de la Gran Barrera de Coral significaría muchas estaciones.

Menos en actuar de manera radical e inmediata sobre nuestras energéticamente dilapidadoras formas de vida, se piensa en todo. El problema es que se cose (si es que se hace) un roto, pero surgen nuevos por todas partes.

10

CHARLES DARWIN Y LA EVOLUCIÓN DE LAS ESPECIES

Debía haber sido médico, pero no le agradaba esa profesión. Para evitar que se «volviera un señorito ocioso», su padre le propuso entonces que se hiciera clérigo, una idea que no le desagradó. Para prepararse, se matriculó en la Universidad de Cambridge, donde mostró que le gustaba más buscar escarabajos que estudiar. Gracias a aquella afición le surgió en 1831 la oportunidad de embarcarse como naturalista, sin retribución, en un barco, el famoso Beagle. Aquel viaje, que duró cinco años, le cambiaría la vida. Me estoy refiriendo a Charles Darwin (1809-1882).

La información que acumuló en aquel periplo se convirtió en semillas que exigieron una lenta germinación, y el abono de todo tipo de detalles, así como un marco teórico que les diese sentido. En cuanto a la idea de hacerse clérigo, «murió de muerte natural», como escribió en su autobiografía. De aquellos sus esfuerzos nació On the Origin of Species by means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life (Sobre el origen de las especies por medio de la selección natural, o la preservación de especies favorecidas en la lucha por la vida; 1859), una de las joyas del pensamiento humano. En este libro defendió que la vida es como un árbol, que ha ido creciendo y diferenciándose a través de sus ramas, de las que, a su vez, brotan otras; esto es, que los seres vivos han ido evolucionando desde formas primitivas (o mejor, menos complejas) impulsados por la lucha por sobrevivir en entornos físicos cambiantes. Estamos, por consiguiente, emparentados, más o menos directamente, con todos los organismos vivos que han existido o existen en la Tierra.

Para llegar a la conclusión de que las especies evolucionan, Darwin

se basó en un vastísimo conjunto de observaciones, no solo las que obtuvo durante su viaje en el Beagle, sino en las que fue acumulando tiempo después. Ahora bien, otros antes que él (su propio abuelo paterno, Erasmus Darwin, o Jean-Baptiste Lamarck, entre ellos) habían defendido que las especies cambian; más complicado era dar con un mecanismo que hiciera plausible tal evolución. Y Darwin lo encontró cuando leyó, en septiembre de 1838, Un ensayo sobre el principio de población (1798) del economista Thomas Robert Malthus (1766-1834). Para darse cuenta de en qué radicó la influencia de Malthus basta con leer lo que el propio Darwin escribió en El origen de las especies: «De la rápida progresión en que tienden a aumentar todos los seres orgánicos resulta inevitablemente una lucha por la existencia. Todo ser que durante el curso natural de su vida produce varios huevos o semillas tiene que sufrir destrucción durante algún periodo de su vida, o, durante alguna estación, o de vez en cuando en algún año, pues de otro modo, según el principio de la progresión geométrica, su número sería pronto tan extraordinariamente grande que ningún país podría mantener el producto. De aquí que, como se producen más individuos que los que pueden sobrevivir, tiene que haber en cada caso una lucha por la existencia, ya de un individuo con otro de su misma especie o con individuos de especies distintas, ya con las condiciones físicas de vida». Con semejante instrumento conceptual, Darwin argumentaba que cualquier variación fortuita (cuya razón de ser él ignoraba) que resultase útil al espécimen en cuestión le daría una posición de ventaja en la lucha por la existencia. Y sus descendientes transmitirían esa variación, a la que más tarde se sumarían más variaciones hasta producir finalmente una especie diferente.

Victoriano prudente, además de esposo fiel de una mujer muy religiosa, Darwin no hizo mención explícita de que, obviamente, también se aplicaba a la propia especie de los humanos, Homo sapiens. Solo encontramos una breve alusión al respecto casi al final del libro, en el último capítulo, en donde Darwin escribió: «En el futuro distante veo amplios campos para investigaciones mucho más importantes. La psicología se basará sobre nuevos cimientos, el de la necesaria adquisición gradual de cada una de las facultades y aptitudes mentales. Se proyectará luz sobre el origen del hombre y sobre su historia». Hubo que esperar hasta 1871 para que se

atreviese a aplicar su teoría a los humanos: fue entonces cuando publicó su «otro» gran libro, The Descent of Man, and Selection in Relation to Sex (El origen del hombre, y la selección en relación con el sexo).

Sin embargo, su prudencia no le sirvió para evitar duras críticas. Un

ejemplo temprano es el debate público que tuvo lugar el 30 de junio de 1860, durante una de las sesiones de la multitudinaria reunión anual de la Asociación Británica para el Avance de la Ciencia. En aquella ocasión se enfrentaron el obispo de Oxford, Samuel Wilberforce, y el biólogo Thomas Henry Huxley, que ha pasado a la historia de la ciencia, junto a sus distinguidas contribuciones a las ciencias naturales, como el campeón en la defensa de la teoría de la evolución. El reverendo W. H. Freemantle, que asistió a aquella confrontación, dejó una descripción de la misma de la que destaco unos párrafos: «El obispo estaba manifestando con retórica exageración que no existía prácticamente ninguna evidencia en favor de Darwin […]. Y entonces comenzó a burlarse: "Querría preguntar al profesor Huxley, que está sentado a mi lado […], acerca de su creencia en que desciende de un mono. ¿Procede esta ascendencia del lado de su abuelo o del de su abuela?". Y entonces, adoptando un tono más grave, afirmó, en una solemne perorata, que las ideas de Darwin eran contrarias a lo revelado por Dios en las Escrituras».

A esta pregunta Huxley respondió con unas palabras memorables: «No sentiría ninguna vergüenza de haber surgido de semejante origen; pero sí que me avergonzaría proceder de alguien que prostituye los dones de cultura y elocuencia al servicio de los prejuicios y la falsedad».

Darwin no asistió a la reunión de Oxford; aparte de sentirse enfermo (probablemente por la tensión que le producía la idea de asistir a semejante encuentro, en el que su libro e ideas iban a ser discutidas), él prefería intentar manejar los hilos a distancia, ayudándose de sus amigos (sobre todo, y además de Huxley, del geólogo, padre de la geología moderna, Charles Lyell y del botánico Joseph Dalton Hooker), una actividad que no se le daba nada mal. A partir de la publicación de El origen de las especies Darwin intensificó la producción de libros, publicando una serie de ellos que en cierto sentido se pueden considerar en su mayoría como nuevos capítulos de su texto de 1859; como añadidos en los que se esforzaba por añadir pruebas a su teoría de la selección de las especies.

En El origen se había concentrado en las variaciones inducidas en

especies animales domesticadas, en la lucha por la existencia, en las leyes de la variación, en las dificultades que encontraba la teoría, como la imperfección del registro fósil, en las distribuciones geográficas de especies y en la embriología. Había algo de plantas, pero no demasiado. En los años siguientes remedió algunas de estas carencias. En 1862 aparecía el primero de los libros que dedicó a estas cuestiones: Los varios ingenios mediante los cuales las orquídeas británicas y foráneas son fecundadas por los insectos; La variación de los animales y las plantas bajo domesticación llegó en 1868, y ya más tarde, Plantas insectívoras (1875), Los efectos de la fertilización cruzada y de la autofertilización en el reino vegetal (1876), Las diferentes formas de flores en las plantas de la misma especie (1877) y El poder del movimiento en las plantas (1880).

Habría mucho que decir acerca de estas obras, sobre lo que añadieron a la teoría de la evolución y cómo en ellas Darwin mostró su habilidad como científico experimental, pero en ellas también aparecían cuestiones con implicaciones religiosas. En, por ejemplo, el penúltimo capítulo de La variación de los animales y las plantas bajo domesticación, escribía: «¿Podemos sentirnos satisfechos al decir que cada orquídea fue creada, exactamente tal como la vemos ahora, a partir de cierto “tipo ideal”; que el Creador omnipotente, habiendo establecido un plan para todo el orden, no se salió de este plan; que Él, por tanto, hizo que el mismo órgano llevara a cabo diversas funciones —a menudo de trivial importancia en comparación con su función real—, convirtió otros órganos en meros rudimentos inoperantes y los organizó a todos como si tuvieran que estar separados y después hizo que se fusionaran? ¿No es una idea más sencilla y comprensible que todas las Orchideae deben lo que tienen en común al hecho de descender de una planta monocotiledónea, que, como muchas otras de la misma clase, poseía quince órganos ordenados alternadamente tres dentro de tres en cinco verticilos, y que la actual estructura maravillosamente modificada de la flor se debe a una larga trayectoria de paulatina modificación, en la que se ha preservado cada modificación que resultó útil para la planta, durante los incesantes cambios a los que quedó expuesto el mundo orgánico e inorgánico?».

Al escribir esto, estaba combatiendo explícitamente lo que en los últimos tiempos se ha venido en denominar «Diseño inteligente», la

idea de que un Dios debió diseñar las diferentes formas en que se manifiesta la vida.

11

EL CRÁTER DE LA MUERTE… Y DE LA VIDA

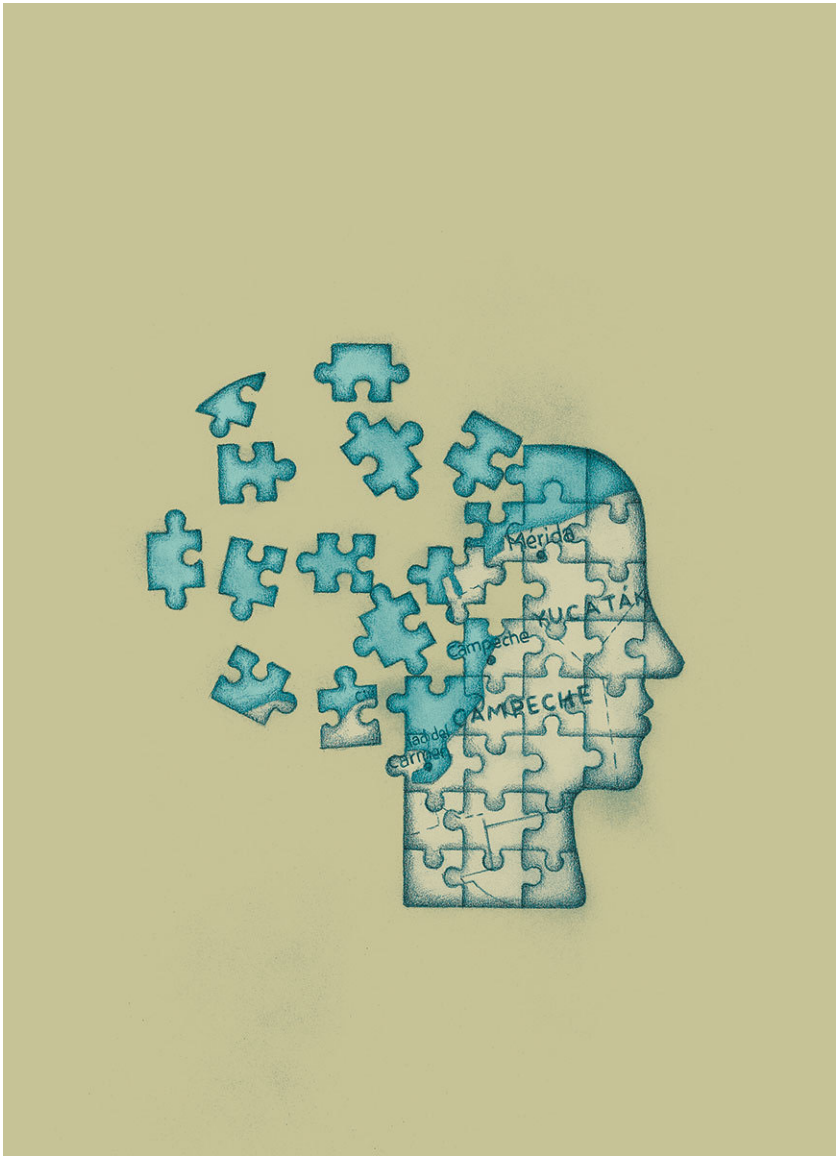
Desde la «célula primordial», ha sido muy largo el camino que ha tenido que recorrerse para que nuestra especie, Homo sapiens, haya llegado a existir. Un camino en absoluto programado, fruto simplemente del azar y la necesidad, el azar de acontecimientos inesperados, del cambiante entorno natural, y la necesidad que imponen las leyes que obedecen todo lo que existe en la naturaleza. La historia de la vida en la Tierra es como un delicado, a la vez que complejo y circunstancial, rompecabezas, sin propósito previo ni final predefinido, aunque acaso debido precisamente al éxito de uno de sus frutos, nosotros los humanos, el final, en cuanto a especies, se vea fuertemente condicionado en el futuro. Cuando se repasa lo que sabemos de esa historia, las evidencias paleontológicas muestran que en el pasado se produjeron al menos cinco grandes extinciones de seres vivos. Una de las más conocidas es la que tuvo lugar hace unos 65 millones de años. Los rastros fósiles de semejante discontinuidad biológica son tan evidentes que los geólogos la han utilizado desde hace mucho tiempo para definir la frontera entre el Cretácico, el último periodo del Mesozoico, y el Terciario, o primer periodo del Cenozoico. Entre las víctimas de esta extinción figuraron los dinosaurios y entre los supervivientes, junto a reptiles como cocodrilos o tortugas, los, por entonces pequeños, mamíferos, que con el paso del tiempo terminarían generando, merced a procesos evolutivos, especies como la nuestra. Somos, por así decir, un soplo afortunado de la historia del universo; de hecho, incluso de no ser por aquella extinción podrían haber desaparecido o no haberse desarrollado los mamíferos. Como lo expresó Richard Dawkins: «Quizás los mamíferos sobrevivieron por el estornudo de un dinosaurio», que alertó a aquella, entonces insignificante, especie. Me imagino a aquellos lejanos antepasados nuestros, pequeños, temerosos, escondiéndose de los dinosaurios. Es triste darse cuenta de que ahora son muchas las especies que se

esconden de nosotros; cuando Darwin llegó al archipiélago de las Galápagos —donde encontró señales que al analizarlas más tarde le ayudaron a pensar en la evolución de las especies— los pájaros que encontró, como los pinzones, no huían ante su presencia. Ese temor se aprende y luego se enquista en el patrimonio genético, como sucede en los humanos con el miedo instintivo ante las serpientes.

El origen de aquella extinción se dio a conocer en 1980, en un artículo de la revista Science, «Causa extraterrestre de la extinción del Cretácico-Terciario. Resultados experimentales e interpretación teórica», firmado por el físico, premio Nobel, Luis Alvarez, su hijo Walter, geólogo, y los químicos Frank Asaro y Helen Michel: fue a consecuencia de un asteroide de unos diez kilómetros de diámetro, que impactó contra la Tierra a una velocidad de aproximadamente treinta kilómetros por segundo, produciendo una energía equivalente a la que librarían 510 millones de bombas del tipo de la lanzada sobre Hiroshima; es decir, una por cada kilómetro cuadrado de la superficie de la Tierra. Aquel cataclismo dejó una notoria huella paleontológica, la denominada capa K-T, rica en iridio, elemento que apenas existe en la corteza terrestre pero que se encuentra en algunos meteoritos.

Una pregunta inmediata era la de dónde se había producido semejante impacto. Seguramente el cráter resultante estaría ya oculto, enterrado bajo materiales depositados a lo largo de esos millones de años. A veces, sin embargo, en la historia se producen episodios que se desarrollan por separado pero que terminan confluyendo. En 1978, Antonio Camargo y Glen Penfield, dos ingenieros geofísicos que trabajaban para la compañía Petróleos Mexicanos (PEMEX), buscaban indicios de depósitos petrolíferos. Para ello, sobrevolaron cuatrocientos kilómetros de aguas territoriales mexicanas provistos de instrumentos que permitían identificar pequeñas variaciones locales en el campo magnético terrestre. Tales variaciones debían dar pistas de la existencia de formaciones rocosas enterradas bajo capas de sedimentos. Los resultados que obtuvieron, unidos a datos de mapas gravimétricos preparados por PEMEX en la década de 1950, delataron la existencia, en los alrededores de la península de Yucatán, de una «estructura» circular de unos doscientos kilómetros de diámetro, centrada en la población de Chicxulub. Supusieron que se debía de

tratar de una antigua caldera volcánica o de un cráter producido por algún impacto. Camargo y Penfield informaron de sus resultados en una reunión de la Society of Exploration Geophysicists celebrada en 1981, pero pasaron desapercibidos. Casi al mismo tiempo, en otra conferencia se discutió la idea de los Alvarez, Asaro y Michel. Era cuestión de tiempo que los dos trabajos se uniesen, pero esa unión tardó bastante en llegar: no fue hasta 1991, en un artículo publicado por Camargo y Penfield, junto al geofísico Alan Hildebrand.



Un cuarto de siglo después, estos resultados no solo son generalmente aceptados, sino que han pasado a formar parte de lo que podríamos denominar «cultura general», en este caso con profundas implicaciones existenciales. Pero aun así, todavía quedan cosas por investigar, avenidas que explorar. La idea inicial de entonces, de que la extinción de especies que tuvo lugar se debió a

la nube de desechos resultante de la explosión, que envolvió la Tierra impidiendo la llegada de la luz solar —el «invierno nuclear», utilizando la idea introducida por el astrofísico y divulgador de la ciencia Carl Sagan—, ha sido matizada, señalando la importancia de la emisión de gases de efecto invernadero y la lluvia ácida que se debió producir. Otra teoría sugiere que minutos después del choque del asteroide, salieron despedidas en vuelos suborbitales rocas, que cuando volvieron a entrar en la atmósfera, como si fuera una lluvia de meteoritos, elevaron la temperatura de aquella dando origen a dantescos incendios. Otra posibilidad, para investigar en el futuro, surge de la suposición de que cantidades importantes de materiales terrestres salieran despedidos con velocidades tan elevadas que les permitiesen superar la barrera de la gravedad de la Tierra, y que algunos de esos materiales llegasen a la Luna. Tal vez algún día, cuando existan bases habitadas en nuestro satélite, se encuentren esos restos.

12

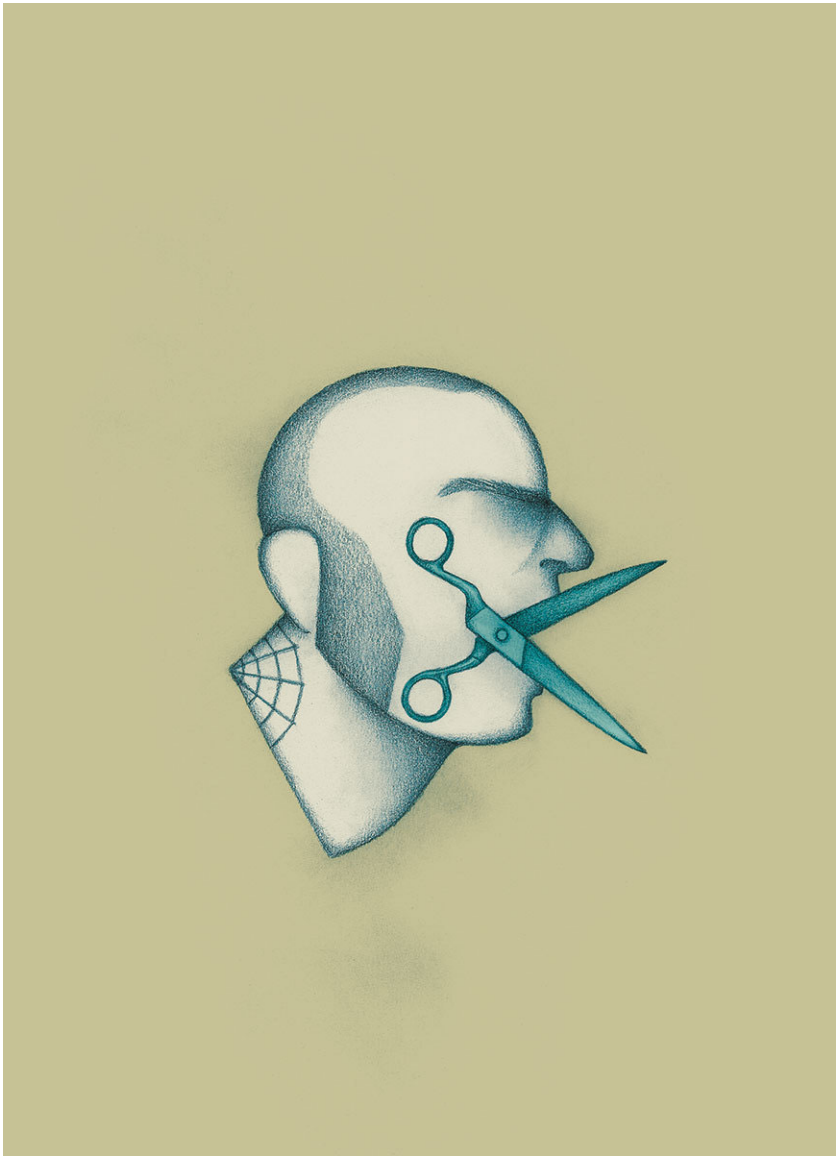
EL NEANDERTAL QUE LLEVAMOS DENTRO

La historia de la evolución humana, a la que ya me he referido, el cómo llegamos a ser la especie que somos y con qué otras especies ahora extintas estamos emparentados, es fascinante y extremadamente compleja. Para desentrañarla dependemos en primer lugar del análisis morfológico —y ahora también del genético— de los fósiles de las especies ancestrales que nos precedieron, y estos, en general, no abundan y aparecen en forma fragmentaria. El árbol genealógico del que somos una rama está resultando ser muy frondoso; además, muchas ramas distan de mostrarse nítidamente separadas unas de otras. Un punto de divergencia particularmente importante tuvo lugar cuando nuestros ancestros se distanciaron de chimpancés y bonobos, algo que se estima sucedió en África hace entre 8 y 5 millones de años. A la rama que nació entonces, ya bípeda, se la suele denominar «homininos» y no se sabe realmente cuál fue la especie que inauguró el grupo. Menos dudas ofrece la pertenencia a él de los australopitecinos, que surgieron hace 3 o 4 millones de años, aunque todavía poseían algunos rasgos de los chimpancés (como la capacidad craneal y la morfología dental). El género Homo, el linaje al que pertenecemos, apareció probablemente hace entre 1,8 y 2,3 millones de años y entre sus características figura que sus «especímenes» se alimentaban en parte de carne (los australopitecinos eran básicamente vegetarianos), gracias a que sus muelas se habían hecho más grandes y sus colmillos se habían reducido. Poseían, asimismo, un cerebro de mayor tamaño, un desarrollo que se vio favorecido por el consumo de carne, un alimento con mucho más contenido energético (proteínas y grasas) que los vegetales. Nuestro cerebro es el órgano que más aporte energético necesita: le corresponde entre el 2 % y el 3 % del peso corporal de un humano, pero consume en torno al 20 % de la energía total que utilizamos (los cerebros de otros mamíferos

emplean menos energía media; los chimpancés, por ejemplo, el 13 %).

En ese sutil rompecabezas de piezas muy diversas que es el género Homo, también intervino la habilidad de utilizar herramientas, con las que actuaban bien como carroñeros de los restos que dejaban otros animales más fuertes o, más tarde, como cazadores. Las variaciones que ha experimentado el clima terrestre, con bajadas y subidas notables de temperaturas y, subsiguientemente, notables variaciones en el nivel de los océanos, constituye otro elemento esencial a la hora de reconstruir la historia de nuestros ancestros. Se supone, por ejemplo, que la disminución de la extensión de los bosques africanos en los que vivían, bien adaptados, nuestros simiescos ancestros protohumanos, y la subsiguiente aparición de extensas zonas de sabanas con gran variedad de presas que atrapar, favoreció la aparición y desarrollo de especies bípedas, que al caminar erguidas podían desplazarse y otear el horizonte mejor.

Una de las especies del género Homo que aparecieron antes que el Homo sapiens es la de los neandertales, cuyos primeros restos fósiles —un cráneo y algunos huesos— se encontraron en 1856 en una pequeña cueva de una cantera del valle alemán de Neander, a unos diez kilómetros al este de Düsseldorf (el nombre, neandertal, proviene de que el sufijo tal es «valle» en alemán). Recuerdo perfectamente que durante mucho tiempo se consideraba a los neandertales seres primitivos, que vivían en Europa y Asia occidental como bestias y con los que los Homo sapiens —seguramente los responsables de su extinción, hace aproximadamente 30.000 años— no teníamos nada que ver, aunque hubiésemos tenido un ancestro común (posiblemente fue hace entre 400.000 y 300.000 años cuando neandertales y sapiens tomaron caminos evolutivos diferentes).



El progreso de la ciencia ha dado al traste con esa mala imagen de los neandertales, sobre todo la ciencia genómica, estrictamente la paleogenómica, disciplina en la que ha destacado el sueco Svante Pääbo, director del Instituto Max Planck de Antropología Evolutiva de Leipzig, quien desarrolló métodos precisos para el estudio del ADN (el ácido desoxirribonucleico, la macromolécula «de la vida»)

de restos antiguos, que han permitido la recuperación y el análisis del genoma de especies desaparecidas hace cientos de miles de años. El resultado más conocido de las investigaciones de Pääbo ha sido, precisamente, la secuenciación del genoma de los neandertales, una tarea extremadamente difícil. Lo que encontró —y publicó con sus colaboradores en 2010— es que el genoma de los humanos actuales contiene en torno al 2 % (hoy se estima que puede llegar al 4 %) de genes de neandertales; de hecho, y como no todos los humanos conservan los mismos fragmentos genéticos de neandertales, si se reúne un grupo numeroso de humanos, es posible encontrar en el conjunto entre el 35 % y el 70 % del genoma neandertal. En otras palabras, neandertales y Homo sapiens mantuvieron relaciones sexuales fértiles. Dicho de otra forma: todos llevamos dentro algo de los neandertales. Si ellos fueron «seres brutales», nosotros, nuestros antepasados lejanos, no lo fuimos menos, recordemos que nos impusimos a ellos y dudo que se hiciera pacíficamente. De hecho, hallazgos paleontológicos han mostrado que los neandertales poseían rasgos culturales parecidos a los de los sapiens ancestrales, como son la utilización de utensilios o de adornos corporales. Incluso parece que eran capaces de hablar; al menos así se deduce del hecho —lo sabemos, de nuevo, gracias a la genómica— de que compartimos con ellos el gen FOXP2, que está relacionado con el lenguaje (también compartimos genes que controlan el olfato, la visión, el sistema inmune y la contracción muscular).

Saber todo esto refuerza la saludable lección que nos enseñó Charles Darwin, en este caso en lo que se refiere a los homininos: formamos parte de un gran entramado biológico. Parece que poseemos habilidades que otras ramas bípedas no tuvieron, pero al menos estamos emparentados con una de ellas (seguramente lo estaremos con más). Que tomen nota los racistas, xenófobos y compañía, de viejo o nuevo cuño.

13

EL CEREBRO: UN PEQUEÑO UNIVERSO

No ocuparíamos los humanos el lugar en que nos encontramos en el planeta en que vivimos si no fuera por las ventajas que ofrece nuestro poderoso cerebro. Es cierto que el corazón es nuestro «motor», porque cuando deja de funcionar se apaga la vida, pero lo que nos hace realmente humanos es lo que pensamos y sentimos, no el aliento que nos mantiene vivos. Y pensar, acción que en nosotros está íntimamente ligada a la capacidad de pensamiento simbólico —esto es, desarrollar argumentos, imaginar situaciones—, es lo que nos da ventajas inapreciables sobre otras especies que podrían competir con nosotros por apropiarse del escenario terráqueo. Sobre otras especies, pero no sobre todos los organismos existentes. Pienso, por supuesto, en los virus, con su inmensa capacidad de mutar y sobrevivir a costa de todo tipo de especies, o en los insectos.

Detesto —lo confieso— a la mayoría de los insectos (las mariposas son una de las pocas excepciones, pero no sus parientes lepidópteros, las polillas). No ignoro que aparecieron —parece que hace entre 425 y 385 millones de años— mucho antes que los mamíferos, que comenzaron su propio camino hace unos 280 millones de años. Sé lo abundantes que son esos invertebrados: se han descrito alrededor de 1 millón de especies, y puede que queden aún entre 10 y 30 millones por descubrir. No ignoro las funciones beneficiosas que cumplen en el mantenimiento de los ecosistemas; las abejas, por ejemplo, desempeñan un papel esencial en la polinización de innumerables plantas, y la creciente desaparición que se está detectando de ellas a nivel mundial —consecuencia de la pérdida de hábitats, uso de pesticidas, contaminación y calentamiento global— constituye una inmensa tragedia. Se estima que el 40 % de las especies de insectos se encuentran en riesgo de desaparición. El número de especies de lepidópteros ya ha

disminuido en un 53 %, y los ortópteros, entre los que se incluyen los saltamontes y los grillos, en un 50 %. Aun así, es seguro que si desapareciera la especie humana sobrevivirán muchos de los insectos (si se produjera, por ejemplo, un «invierno nuclear» provocado por una desenfrenada guerra atómica, las cucarachas —que odio— continuarían existiendo sin mayor problema).

También nos sobrevivirán las hormigas, insectos que surgieron hace algo más de 100 millones de años, esto es, unos 15 millones de años antes que los primates, el grupo de mamíferos placentarios al que pertenece nuestra especie. Y sí, las hormigas pueden ser pequeñas, pero hay que situarlas en un contexto adecuado: según algunos cálculos existen entre 1 billón y 1 trillón (un millón de billones) de hormigas, y si tenemos en cuenta que pueden pesar entre 1 y 5 miligramos, resulta que el peso de la población mundial de hormigas es más o menos el mismo que el correspondiente al total de los humanos. Y se encuentran en casi todas partes, salvo en los hielos polares y alpinos; por supuesto en las selvas tropicales, donde abundan, e incluso en las inhóspitas junglas de hormigón, asfalto, acero y cristal que son las ciudades.

Pero volvamos a nuestro cerebro.

Es casi un lugar común decir que el gran reto de la ciencia actual es entender cómo es posible que un sistema orgánico como es el cerebro posea conciencia de sí mismo, lo que en última instancia significa que es el responsable de que seamos quienes somos, de nuestra unidad y autonomía como entidad. ¿Cómo produce el cerebro pensamientos? Su complejidad es enorme: está formado por 100.000 millones de células, las neuronas, las, como las denominó Santiago Ramón y Cajal, «células del pensamiento», cada una conectada —por medio de las proyecciones ramificadas arborescentes llamadas axones y dentritas, la mayoría de las cuales terminan en unas estructuras diminutas, las sinapsis— a otras 10.000 neuronas que, una vez estimuladas, crean influjos nerviosos que, a su vez, engendran mediadores químicos que atraviesan el espacio intercelular para llegar a otras neuronas. Cien mil neuronas, cada una pudiendo tener de 1 a 10.000 conexiones sinápticas con otras neuronas, dan lugar a un conjunto de interconexiones de, aproximadamente, ¡40.000 billones! ¡En un solo cerebro! Desde esta

perspectiva, es lícito considerar el cerebro como uno de los objetos más complejos, si no el que más, del universo. ¿Sorprenderá en consecuencia que estemos lejos de comprenderlo, que no sepamos cómo eso que llamamos «cerebro» integra y coordina tanta actividad, tanto intercambio de información, tanta diversidad y tanta especialización?

Tal vez a alguien se le ocurra pensar que son precisamente las extraordinarias habilidades del cerebro humano las que nos hacen de alguna manera un «producto» escogido, separado del resto de los seres vivos. Pues no: el cerebro no se libra de la historia evolutiva que desveló Charles Darwin. No existe ninguna duda de que el cerebro de los humanos se fue formando al hilo de la evolución que ha conducido al Homo sapiens, siguiendo las mismas leyes. En este sentido, Francis Crick, codescubridor de la estructura del ADN, señalaba en uno de sus libros, La búsqueda científica del alma (1994): «¿Cómo ha surgido esta extraordinaria máquina neuronal? Para comprender el cerebro, es importante entender que es el producto final de un largo proceso de evolución por selección natural. No ha sido diseñado por ningún ingeniero aunque […] realiza una tarea fantástica en un reducido espacio […]. Los genes recibidos de nuestros padres, a lo largo de muchos millones de años, se han visto influidos por la experiencia de nuestros lejanos ancestros. Estos genes, así como los procesos que ellos dirigen antes del nacimiento, son la base de buena parte de nuestra estructura cerebral. Hoy sabemos que el cerebro, al nacer, no es una tabula rasa sino una elaborada estructura con muchas de sus piezas ya instaladas». Todo indica que cuando aparecía una nueva estructura o elemento cerebral, acompañada de una nueva función, lo hacía sobre otra existente, más primitiva, pero que no por ello desaparecía. El cerebro es, en definitiva, un conjunto de estructuras cognitivas surgidas a lo largo del tiempo, en respuesta a requerimientos del entorno.

Abrirse camino a través de ese mosaico, desentrañar su historia evolutiva, poner orden en la inmensa red de células que lo forman, y en los correspondientes sistemas de genes y nucleótidos, surcados por elementos que tal vez tuvieron alguna vez sentido, cumpliendo funciones ya perdidas, pero que sin embargo condicionaron y acaso continúan condicionando su funcionamiento actual, es la tarea de

los neurocientíficos y de la neurociencia. Una tarea mucho más difícil que la de los paleontólogos que buscan desentrañar los orígenes de los humanos, ya que mientras que se conservan algunos fósiles óseos del cráneo de los homínidos, las partes blandas han desaparecido para siempre. Afortunadamente, al igual que el ladrón que deja pistas, el neurocientífico, convertido en un Sherlock Holmes improvisado, puede recurrir al análisis de los moldes (endocraneanos) que se forman con las paredes internas del cráneo, en las que han quedado las impresiones de los lóbulos cerebrales, así como de las venas de las meninges, pudiendo inferir de esta manera, al menos, el tamaño aproximado de los distintos lóbulos cerebrales. Algo es algo, pero, como es patente, la tarea neuropaleontológica se adivina larga.

Una buena parte, probablemente la mayor, de lo que se sabe del funcionamiento cerebral se debe a un conjunto de instrumentos y técnicas que permiten, por ejemplo, observar todo el cerebro, o partes determinadas de él, en acción, como son la tomografía por emisión de positrones, la resonancia magnética, o la utilización de microelectrodos para seguir los diminutos impulsos eléctricos que

pasan entre las células nerviosas. Ahora bien, muchos de los estudios de diagnóstico por imagen se centran a menudo en sujetos que están realizando tareas como resolver problemas matemáticos, escuchar música, sentir miedo o memorizar listas de palabras. Ayudados por estas tecnologías, conocemos ya mucho acerca de las funciones en las que está especializada cada región de nuestro cerebro. Así, por ejemplo, el lenguaje de los humanos depende sobre todo del lóbulo frontal izquierdo para prácticamente todos los diestros y la mayoría de los zurdos. La región conocida como hipotálamo, en el exterior del córtex, es el gran «centro de control» de funciones como la regulación de la sed, la temperatura o el comportamiento sexual, mientras que el cerebelo, situado en la parte posterior de la cabeza y altamente desarrollado en determinados peces, parece ocuparse del control del movimiento del cuerpo y, en especial, de la eficiencia de los movimientos especializados. Están, asimismo, los lóbulos temporales, encargados de las funciones auditivas, neurovegetativas y olfativas, los lóbulos parietales, que reciben y elaboran las informaciones proporcionadas por los órganos de los sentidos (gusto y estímulos sensoriales), y los lóbulos occipitales, que se ocupan de la percepción visual. Por otra parte, el hipocampo consolida las informaciones recientes, transformando la memoria a corto plazo en memoria a largo plazo.

No obstante, todavía ignoramos mucho, en particular de lo que es más importante: del cerebro como unidad. Y si algo es el cerebro, es un sistema armónico, que combina maravillosamente especialización con «totalidad».

14

LA INTEMPORALIDAD DE LA MATEMÁTICA

No existe mejor evidencia de la capacidad humana de pensamiento simbólico que la matemática. Se trata de una disciplina muy especial: los procedimientos que emplea y los resultados a los que llega poseen tal seguridad e inevitabilidad —dentro de su estructura interna, de los axiomas sobre los que se construye— que es natural considerar que no es una ciencia como las demás, como la física, la química, la biología, la geología o cualquier otra. Mientras que estas serían sistemas lógicos de proposiciones a posteriori, falibles, la matemática sería a priori, tautológica e infalible. En un libro publicado en 1843, A System of Logic Ratiocinative and Inductive, el filósofo y economista inglés John Stuart Mill expresó esencialmente la misma idea, aunque restringiéndose a la lógica, una de las partes más básicas de la matemática: «La lógica no observa, ni inventa, ni descubre; pero juzga».

La matemática es, efectivamente, muy particular. Hay quienes se esfuerzan en identificar rasgos que justifiquen asumir que la ciencia, todas las ciencias son en última instancia constructos humanos y como tales sometidas a la influencia de la cultura, lo que implicaría que diferentes culturas producirían ciencias que de alguna manera serían distintas. En contra de semejante punto de vista, al menos en lo que se refiere a la matemática, está el hecho innegable de que no parece que existan diferencias culturales o idiosincráticas significativas en el dominio de la matemática. El teorema de Pitágoras, al igual que muchos otros resultados matemáticos, fue descubierto independientemente y repetidas veces por pensadores diferentes, lo que apoya la idea de que los fundamentos de las matemáticas yacen fuera de la mente humana y no son enteramente un producto de nuestra forma de pensar.

Es esa «intemporalidad» de las matemáticas lo que siempre me

atrajo. Identificar los puntos de partida, entender cómo siguiendo las reglas de la lógica se llega a las conclusiones; es como vivir en un mundo perfecto, ajeno a las vicisitudes de la vida, un mundo en el que aparecen novedades que no habríamos podido imaginar, como es el caso, por ejemplo, de que existan diferentes tipos de «infinitos», la rama de la matemática que inauguró Georg Cantor (1845-1918).

No obstante y pese a que parece existir aparentemente en el mundo platónico de las ideas, la matemática es un instrumento imprescindible para las ciencias de la naturaleza. Es cierto que no desempeña siempre el mismo papel en todas ellas, pero el ideal de cualquier teoría científica es poder ser expresada mediante una forma matemática, reducirla a un conjunto de ecuaciones que describan leyes, ideal que se manifiesta de forma particularmente rotunda en la física. Consideremos, por ejemplo, el libro de Charles Darwin, El origen de las especies: no contiene una sola expresión matemática, lo que no impide, obviamente, que se trate de una obra científica; pero la mayoría de edad de la teoría de la evolución de las especies comenzó cuando el matemático G. H. Hardy (1877-1947) aplicó sus conocimientos a la entonces incipiente genética mendeliana, publicando en julio de 1908 una «nota al editor» en la revista Science. Allí, Hardy —al igual que de manera independiente el médico Wilhelm Weinberg (de ahí que se hable de la «ley de Hardy-Weinberg»)— se enfrentó a un problema que surgió en los primeros intentos de aplicar modelos matemáticos a la aparición de modificaciones en la descendencia de una pareja, modificaciones que se producían si los progenitores se desviaban de la media de la población. Los análisis teóricos demostraban que semejantes desviaciones terminaban desapareciendo, debilitadas en los cruces entre individuos. Así que, ¿cómo explicar la aparición de nuevas especies? Hardy lo aclaró en su nota.

La matemática subyace hasta tal punto en las leyes que codifican los fenómenos naturales, que parece que el universo es matemático en un sentido profundo. Esto es misterioso: «¿Cómo puede ser —se preguntaba Einstein en 1927— que la matemática, un producto del pensamiento humano independiente de la experiencia, se adecúe tan admirablemente a los objetos de la realidad?». En 1959 el físico de origen húngaro, nacionalizado estadounidense más tarde, premio

Nobel de Física por sus contribuciones a la física nuclear y de altas energías a través del descubrimiento y aplicación de principios de simetría, Eugene Wigner (1902-1995) expresó de manera exquisita este característica y problema en un ensayo que se convirtió en legendario: «La irrazonable efectividad de la matemática en las ciencias naturales». Mucho antes, Galileo había manifestado en uno de sus libros, Il Saggiatore (El ensayador, 1623): «La filosofía está escrita en ese grandísimo libro que continuamente está abierto ante nuestros ojos (es decir, en el universo), pero no se puede entender si primero no se aprende a comprender su lengua y a conocer los caracteres en que está escrito. Está escrito en lengua matemática y los caracteres son triángulos, círculos y otras figuras geométricas, sin cuya ayuda es humanamente imposible entender nada; sin estas es como girar vanamente por un oscuro laberinto».

Encontramos evidencia del papel de las matemáticas en la naturaleza en todo tipo de situaciones, entre ellas, una relacionada con uno de los apartados más básicos de la matemática: la teoría de números. Los números más sencillos, los que todos conocemos, son los denominados «números naturales»: 0, 1, 2, 3… Su correlato en la naturaleza es inmediato: 1 silla, 2 personas, 3 electrones… Vienen luego los «números enteros», que incorporan a los números negativos: –3, –2, –1, 0, 1, 2, 3… No podemos decir que hay –2 personas en una habitación, pero sí hablar de un balance de cuentas negativo y, por ejemplo en la física, de cargas eléctricas positivas y negativas: un electrón tiene carga e negativa, –e, un protón, positiva, +e, y un neutrón, nula, 0. Tenemos luego los «números racionales», formados por el cociente entre dos números enteros (con el divisor distinto de 0), las denominadas fracciones o números fraccionarios del tipo ½ o ¾. Al intentar determinar el valor de la diagonal de un cuadrado de lado 1 (que es la raíz cuadrada de 2), surgieron los «números irracionales», que, por supuesto, no son lo que su nombre sugiere. Y al medir la longitud de una circunferencia, o el área que engloba, apareció otro tipo de números («transcendentes»), en este caso el número π. El valor tanto de los números irracionales como el de los transcendentes se expresa mediante una sucesión infinita de números naturales (π = 3,14159…), lo que no impide que, como muestran sus orígenes, se manifiesten en la naturaleza.

Y si consideramos las raíces cuadradas, ¿cuál es la raíz cuadrada de –1? Parecía que dentro del conjunto de los números anteriores (denominados «números reales») esto no tenía sentido, pero se introdujo un nuevo concepto, en el que la raíz cuadrada de –1 era un número, al que se representó mediante la letra i. Así nacieron los «números complejos», que desempeñan un papel central en numerosos campos de la física, desde la electrónica a la mecánica cuántica, en la que el objeto fundamental, la denominada función de onda, está definido en el dominio de los números complejos.

Si abandonamos la teoría de números, encontramos estructuras matemáticas en prácticamente todas las leyes con las que describimos la naturaleza: ecuaciones diferenciales ordinarias en las leyes del movimiento que explican desde la caída de una piedra hasta el vuelo de un vehículo espacial; ecuaciones en derivadas parciales para representar los fenómenos electromagnéticos; matrices y operadores funcionales en la física cuántica; geometrías planas o curvas (como en la teoría de la relatividad general, la que mejor describe la gravitación); o las geometrías fractales, introducidas por Benoît Mandelbrot (1924-2010) en 1967, que poseen dimensiones no enteras y que describen escenarios tan reales como el contorno de una costa, la distribución de estrellas en el universo o la forma de un árbol.

Como vemos, la matemática está compuesta por una inmensidad de entes y estructuras, pero solo una parte de los cuales encuentra (o hemos encontrado) su correlato en la naturaleza. ¿Tiene sentido preguntarse si acaso todavía no se han descubierto los fenómenos naturales a los que aguarda su estructura matemática, en este o en otros universos?

15

CEREBRO, MATEMÁTICAS Y MÚSICA

Ya he aludido a lo mucho que ignoramos de nuestro cerebro, ignorancia que se manifiesta con claridad en el estudio de algunas enfermedades mentales. Para tomar conciencia de ello no es necesario adentrarse en la literatura especializada, tarea por otra parte complicada para el lego; basta con leer los escritos de un maestro de la escritura como fue el neurólogo Oliver Sacks (1933-2015). Sus escritos no solo nos enriquecen y emocionan, también desvelan potencialidades ocultas del cerebro. En todos sus libros relata algunas de esas habilidades especiales, en general ausentes en los individuos «normales», pero aquí me referiré únicamente al caso de los gemelos que describió en uno de los capítulos de su libro más conocido, El hombre que confundió a su mujer con un sombrero (1985). Aquellos gemelos, que entonces tenían veintiséis años, llevaban internados en instituciones mentales desde los siete años y eran considerados como autistas, psicóticos o gravemente retardados. Pero Sacks descubrió que poseían habilidades matemáticas extraordinarias y, lo que es más importante, que una vez identificadas estas era posible entrar un poco en su mundo. Recuerdo la escena en la que describía su sorpresa cuando vio que los hermanos, habitualmente encerrados en sí mismos, se sumergían en un diálogo numérico: uno decía un número de seis cifras y el otro lo escuchaba, feliz, y respondía con otro número igual de largo. Sorprendido y deseoso por entender, Sacks regresó a su casa y terminó dándose cuenta de que los números en cuestión, que había anotado, eran primos (números naturales, mayores que el 1, que tienen únicamente dos divisores positivos, él mismo y el 1). Buscó entonces un libro que tuviese una tabla de números primos, y esperó la ocasión de que se estableciese un nuevo diálogo entre los gemelos. Cuando esto ocurrió, miró discretamente en su tabla e intervino en la conversación diciendo en alto otro número primo. Los gemelos se sorprendieron al

escucharlo, pero reaccionaron permitiendo que Sacks se sumase al diálogo, él ayudado por su tabla.

¿Qué consecuencias extraigo de esta historia? La primera, que es posible encontrar, al menos en algunos casos, vías de entrada a los mundos cerrados de aquellos a los que con demasiada facilidad denominamos «enfermos mentales». ¿No será que lo que ocurre es que esas personas sufren las consecuencias —terribles, sin duda— de que en ellas se manifiestan en todo su poder potencias ocultas del cerebro humano? ¿Potencias que en los demás, las personas «normales», están disminuidas en beneficio de nuestra «salud psíquica», nuestra adaptación al medio? En el caso de los gemelos, el «potencial oculto» era una capacidad de cálculo, de identificar números primos, de alguna manera «intuitiva». Me recuerda al matemático indio Srinivasa Ramanujan (1887-1920), que era capaz de «ver», no de demostrar, relaciones matemáticas muy complejas, que luego otros matemáticos, como el británico G. H. Hardy, encontraron ser ciertas. ¿Qué es la matemática? ¿Qué relación tiene con el cerebro humano, con su estructura?

Una posibilidad es la siguiente. Nuestra mente es nuestro cerebro, y este es, como todo o prácticamente todo lo nuestro, un producto surgido de un largo proceso evolutivo. Ahora bien, la guía que dirige esa evolución es, Darwin dixit, la «supervivencia de los más aptos». Pero ¿quién estará mejor dotado para sobrevivir que aquellos cuyo cerebro les suministre representaciones no engañosas del mundo, representaciones que revelen su verdadera naturaleza o estructura? Si lo que nuestra mente-cerebro fabricase fueran representaciones del mundo que se apartaran de forma significativa de la verdadera naturaleza de las cosas, entonces podría ser posible (muy posible, diría yo) que no hubiésemos tenido tanto éxito evolutivo como especie como el que indudablemente hemos tenido. Desde este punto de vista, es el crisol de la evolución lo que permite comprender el origen de las categorías cognitivas y explicativas que posee la especie Homo sapiens. De hecho, se podría ir un paso más allá y proponer la idea de que el éxito final de los sapiens frente a otras especies se debió a que su (nuestro) cerebro logró el desarrollo necesario para alcanzar la capacidad de abstracción matemática adecuada para construir representaciones del mundo más poderosas que las suyas.

Otra actividad humana que alberga misterios y que también consideró Sacks es la música. En otro de sus libros, Musicofilia (2007), utilizando una serie de casos clínicos indagó sobre las sorprendentes y muy poderosas manifestaciones musicales en personas con determinados desórdenes neuronales. Su experiencia

le llevó a reconocer que «nuestros sistemas auditivos, nuestros sistemas nerviosos, están exquisitamente afinados para la música», aunque reconocía que todavía no sabemos «hasta qué punto esto se debe a las características intrínsecas de la propia música y hasta qué punto obedece a resonancias especiales, sincronizaciones, oscilaciones, excitaciones mutuas, o retroalimentaciones en el circuito nervioso inmensamente complejo y de muchos niveles que subyace a la percepción musical y la reproduce».

Si traigo la música a colación es porque está íntimamente relacionada con varias ciencias, una de ellas la matemática. Recordemos que hasta bien pasada la Edad Media, siguiendo la estela de la escuela pitagórica, que identificó las relaciones que existen entre la longitud de una cuerda vibrante y las notas musicales, la música constituía, junto a la aritmética, la astronomía y la geometría, el quadrivium, entonces uno de los pilares de la educación superior. La larga tradición que unió a la música con la matemática, la acústica y la fisiología, culminó en un mayúsculo tratado (en alemán), Sobre las sensaciones de tono como una base fisiológica para la teoría de la música (1863), de Hermann von Helmholtz (1821-1894), uno de los gigantes de la ciencia del siglo XIX. En las primeras líneas de esa obra, Helmholtz expresó sus intenciones: «En este trabajo se intenta conectar las fronteras de dos ciencias que, aunque vinculadas entre sí por muchas afinidades naturales, hasta ahora han permanecido separadas en la práctica. Me refiero a las fronteras de la acústica física y fisiológica por un lado, y de la ciencia y estética musical por otro». Ahora bien, una cosa es conocer la estructura física y fisiológica y otra comprender el efecto que produce en nosotros. Una respuesta habitual al problema de las sensaciones placenteras que la música produce cuando la escuchamos reside en la armonía, concepto que es posible interpretar, en parte, en base físico-matemática, como conjuntos de ondas sonoras que fluyen sin ser perturbadas, igual que cuando son emitidas individualmente. Por cierto, este hecho sirve para entender la diferencia entre la música y la pintura. La luz es, como el sonido, una onda; más concretamente, un conjunto de vibraciones de diferentes longitudes de onda, que producen en el ojo la sensación de color: el rojo está asociado a la longitud de onda más larga, viniendo después el naranja, el amarillo, el verde, el azul y el violeta. Pero el ojo no puede descomponer los sistemas formados

por varias ondas luminosas de diferentes frecuencias, sino que lo experimenta como una sensación única. Justo lo contrario es lo que le sucede al oído, que sí puede distinguir los sonidos «elementales».

La música es, efectivamente, algo más que un conjunto de sonidos armónicos. En su libro más personal, Errata (1997), el filósofo y crítico literario George Steiner (1929-2020) se refirió al efecto que la música tiene en las personas en los siguientes términos: «¿Qué explicación tenemos para una experiencia que es a un tiempo profundamente familiar, banal, cotidiana, y que se encuentra "más allá de las palabras" —lo que equivale a decir más allá de la explicación lógico-racional—? Las tonalidades y las modulaciones musicales parecen estimular ciertos estados de ánimo o emociones. Pero ¿es ello principalmente cuestión de convención histórica, de domesticada expectación?».

La presencia de la música en todas las culturas humanas, no importa cuánto retrocedamos en el tiempo (se han encontrado en cuevas prehistóricas flautas hechas a base de huesos y cuernos de reno, junto a utensilios de pedernal y restos de animales extinguidos), así como en diferentes especies animales, hizo que fuese imperativo para Darwin ocuparse de ella en sus estudios sobre la evolución de las especies. «La percepción —escribió en El origen del hombre (1871)— si no el disfrute, de cadencias musicales y de ritmos es probablemente común a todos los animales, y sin duda depende de la naturaleza fisiológica común de sus sistemas nerviosos». Ante el problema de «la capacidad y el amor por el canto o la música», Darwin pensaba que «el principal objetivo y, en algunos casos exclusivo, parece ser llamar o cautivar al sexo opuesto». Otra cosa era por qué «los tonos musicales en un orden y ritmo determinados resultan agradables al hombre y a otros animales», cuestión a la que no podía dar respuesta, «como no podemos darla de lo agradables que pueden resultar determinados olores y sabores».

Darwin no poseía respuestas convincentes, pero tampoco se tienen muchas en la actualidad. Incluso no existe consenso sobre si las percepciones y reacciones ante la música son parecidas en los humanos y en otras especies. Se ha señalado, por ejemplo, que una de las características de los humanos es su capacidad para

sincronizar sus movimientos a acordes musicales, habilidad ausente en otras especies (en los perros, por ejemplo). Sin embargo, puede que no sea siempre así: algunas investigaciones han mostrado que los leones marinos son capaces de aprender a sincronizar sus movimientos con acordes musicales.

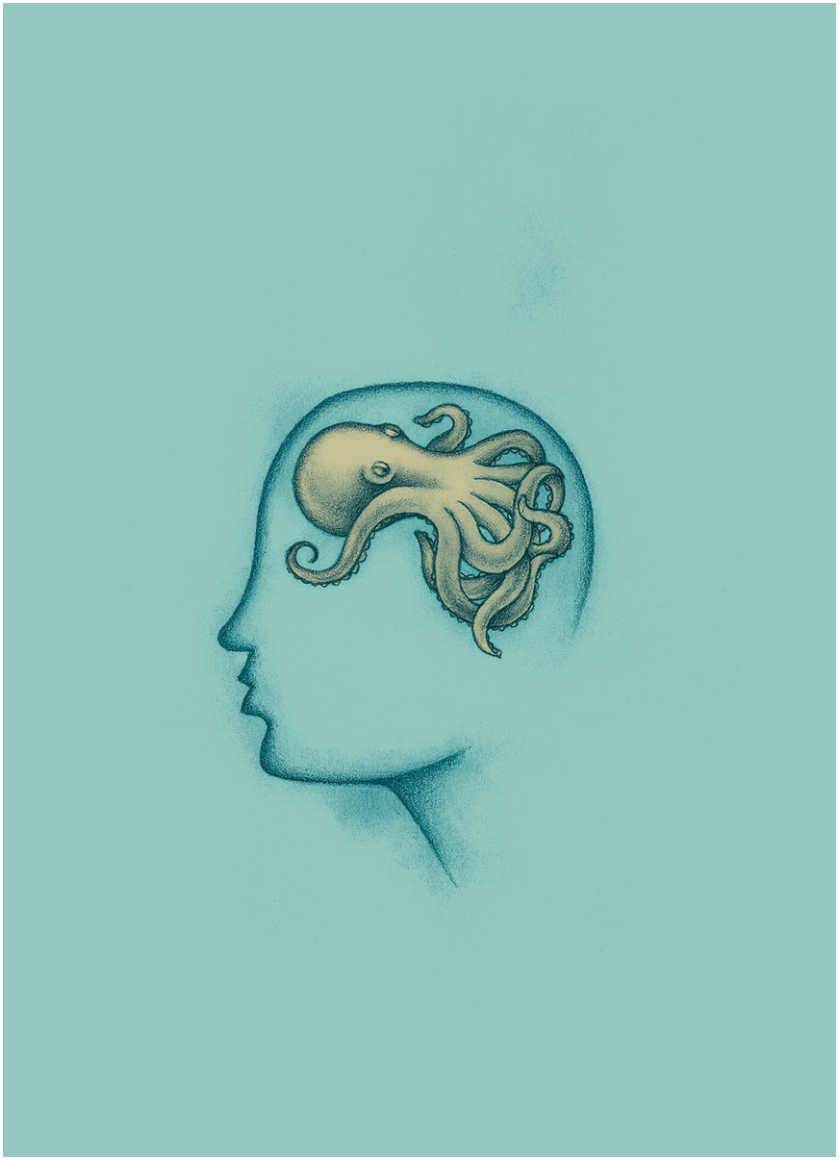
Misterios, cuestiones por resolver. ¡Qué maravilla!

16

¿PIENSAN LOS PULPOS?

Cuando miro a un perro, o a muchos otros animales, como por ejemplo cuando iba a un zoológico —ya no lo hago, no soporto ver seres imponentes, maravillosos «productos» de largos y alambicados procesos evolutivos, encerrados, recorriendo una y otra vez los mismos, limitados, caminos, aunque desde hace tiempo los zoológicos no sean ya aquellos terribles, vergonzosos antros que existían en mi infancia—, cuando miro a muchos animales, decía, y ellos me miran a mí —y lo pueden hacer fijamente—, a veces me pregunto: ¿qué estará pensando?, ¿qué significa pensar para este animal? Porque no dudo que, de una forma u otra, seres como perros, gatos, leones, elefantes, osos, chimpancés, caballos, cabras y un largo etcétera (entre los que por supuesto se hallan delfines, loros o cuervos), provistos de un sistema nervioso altamente desarrollado, de cerebro, «piensan», aunque pensar y sentir sean en sus casos, acaso, conceptos difícilmente distinguibles.

Adviértase que todos los ejemplos que acabo de poner pertenecen en realidad a un pequeño grupo de seres, los vertebrados (animales con espina dorsal o columna vertebral), clase de la que también forman parte aves, peces, reptiles y anfibios. En muchos casos, además, se trata de animales con los que los humanos estamos genética y evolutivamente relativamente emparentados. Son, por decirlo de alguna manera, parientes cercanos nuestros, circunstancia que hace que podamos acercarnos mejor a comprender sus sistemas cognitivos. Ahora bien, ¿qué pasa con especies que nos son más lejanas como, por ejemplo, los pulpos, invertebrados miembros del grupo de los cefalópodos? Se trata, efectivamente, de un pariente nuestro muy lejano: si buscásemos un antepasado común a los grupos de los que forman parte humanos y pulpos, tendríamos que remontarnos a unos 600 millones de años en el pasado.



Confieso que no habría pensado en los pulpos de no haber sido por un espléndido libro, Otras mentes (2016), de Peter Godfrey-Smith, un australiano que combina sus intereses en filosofía e historia, materias que profesa en la Universidad de Sídney y en la Universidad de la Ciudad de Nueva York, con el submarinismo,

práctica sin la cual no habría podido escribir esta obra, que para sí quisieran haber producido muchos biólogos. De entrada, tenemos que los pulpos son un tipo de moluscos, uno de los grandes troncos (filos) del reino animal, que incluye, entre otros, a almejas, ostras y caracoles. Puede parecer extraño que los pulpos, que carecen de concha, sean moluscos, pero la evolución de las especies tiene estas cosas, estos meandros, estas peculiaridades y sorpresas: parece que con anterioridad a la era de los dinosaurios —que aparecieron hace unos 230 millones de años— algunos cefalópodos empezaron a abandonar sus conchas, lo que les permitió más libertad de movimientos, pero también les hizo ser más vulnerables, lo que, a su vez, pudo impulsar el desarrollo de sus «mentes»: pocas cosas estimulan más a la hora de buscar soluciones, de innovar, que el peligro.

Sí, los pulpos piensan, tienen «mente». Si los pulpos poseen algún tipo de «inteligencia» deben tener algún sistema nervioso, por muy primitivo que este sea. Y sí, un pulpo común tiene en su cuerpo 500 millones de neuronas, no muchas menos que las que tiene un perro (los humanos tenemos alrededor de 100.000 millones). Sin embargo, la distribución de estas neuronas no se parece en nada a la nuestra: la mayoría no están en su cerebro, sino en sus tentáculos. Otra diferencia notable entre pulpos y humanos es que aquellos tienen tres corazones —sí, tres— y no uno, como nosotros, una diferencia fisiológica que implica importantes diferencias vitales.

El que la «geografía interna» neuronal, y por consiguiente la configuración cerebral, terminase siendo muy diferente entre mamíferos y cefalópodos, no es sino una muestra más de que no hay nada predeterminado en la evolución de las especies. Aun así, y para complicar más todo —o si se prefiere, para dar mayor riqueza a la historia de la evolución de las especies—, resulta que en algún caso sí sucedió que caminos diferentes condujesen a resultados muy parecidos. Esto ha ocurrido con los ojos: se supone que ese antepasado común al que me estoy refiriendo tenía simplemente unas «manchas oculares», por denominarlas de alguna forma, pero, a pesar de sus muy diferentes historias y escenarios en los que se desenvolvieron, vertebrados y cefalópodos, humanos y pulpos, desarrollaron, independientemente, ojos «de cámara», con una lente

que enfoca una imagen sobre una retina.

Hubo un tiempo en el que yo pensaba que una posible manera de que un Mefistófeles (el diablo) pudiese tentarme como al Fausto de Goethe, sería ofrecerme hacer pasar por mis ojos y por mi entendimiento, como si fuese una película a cámara acelerada, toda la historia del universo. Hoy ya no pienso lo mismo, salvo en lo que se refiere a que me explicasen —si es que lo pudiera entender— cómo es que existe el universo. Creo que nuestros poderosos pero también limitados cerebros nunca nos permitirán encontrar respuesta a semejante pregunta. Darwiniano como soy, sé que estoy emparentado —aunque sea un parentesco muy lejano— con seres como, por ejemplo, la lombriz de tierra, para la que está fuera de su alcance comprender cosas como que «1 + 1 = 2»; así que ¿por qué nosotros, los humanos, íbamos a poder comprenderlo todo? De bastante somos capaces: nada más y nada menos que de construir una maravillosa ciencia, que se ajusta bastante bien, aunque de manera incompleta —¿cómo fue posible el Big Bang?— a la realidad que observamos.

La oferta mefistofélica que me tentaría ahora sería ser testigo de otra «película», en principio más humilde: la de la historia de la vida que surgió y evolucionó en nuestro planeta, una historia con muchísimas variantes e infinitas posibilidades. Una historia, tal vez, más rica, o al menos más variada, que la del propio universo.

17

LA PERRA QUE ME PARTIÓ EL CORAZÓN

Hace tiempo me encontré en un libro con una vieja fotografía que me ha recordado el día que una perra me partió el corazón. Aparece en ella el microbiólogo Jaume Ferran (1852-1929), junto a cuatro hombres más, que le ayudaban en la tarea que estaba realizando. «El doctor Ferran durante la realización de unas pruebas de vacunación», reza el pie de la ilustración. No está fechada, pero es probable que date de los alrededores de 1888, cuando Ferran estaba desarrollando el conocido como «método supraintensivo» de vacunación antirrábica, y que la fotografía se tomase en el Laboratorio Microbiológico Municipal de Barcelona, creado por iniciativa suya en 1887. Pero ni Ferran ni sus colaboradores son, para mí, los protagonistas de la imagen, sino quienes les acompañaban: ocho perros, callejeros seguramente. Uno está tumbado, la boca amordazada, anestesiado en una pequeña y miserable «mesa de operaciones». Dos de los hombres lo sujetan mientras que Ferran le clava una aguja hipodérmica. De los siete perros restantes, uno, sentado de lateral, ignora a la cámara fotográfica, mientras que los otros seis la miran fijamente. Y la miran con una sorprendente dignidad, que no sirve, sin embargo, para ocultar la tristeza que inundaba sus ojos. «Sabemos lo que nos espera», parecen todavía decirnos en un diálogo a través del tiempo. «Somos desgraciados pero no estúpidos. Comprendemos».

Sus miradas son las que me han recordado a esa perra a la que me refería. La perra que hace años me partió el corazón. Estábamos paseando mi mujer y yo por un antiguo pinar resinero segoviano, hoy urbanizado en unos cientos de parcelas, y vimos a una perra, rechoncha y paticorta, perteneciente a la raza de los carlinos. Era joven, estaba preñada y muy desorientada. No se nos acercó, observándonos a distancia, temerosa. Pero no se encontraba lo suficientemente alejada como para que no pudiésemos ver sus ojos,

su mirada, que delataba, como la de los perros de Ferran, toda la tristeza del mundo, agravada porque en su caso no parecía haber conocido hasta entonces el desamparo. Se alejó sin saber hacia dónde ir. Como pueden suponer, no llevaba ningún collar. Cuando se comete una indignidad, hay que intentar ocultar cualquier prueba. Era, claro, una perra abandonada. Abandonada por alguno de los muchos miserables que constantemente llevan a cabo este tipo de fechorías.

Estas dolorosas imágenes y recuerdos continúan golpeándome según pasa el tiempo, haciéndome pensar sobre otros maltratos que los humanos infligimos a la naturaleza y a todo lo que hay en ella. Desde el abandono de animales a los que tal vez incluso se llegó a querer, a crueldades tan innecesarias como brutales del tipo de ahorcar galgos, despeñar burros o acosar y asesinar zorros y toros, como si no fuese suficiente carga moral el que seamos una especie básicamente carnívora, que se alimenta de millones y millones de animales, muchos, si no la mayoría, dotados de sistemas nerviosos y neurológicos altamente elaborados que les permiten comprender, sentir afectos, temor, dolor, alegría o pánico. El 23 de septiembre de 1977 se aprobó en Londres una humanitaria «Declaración universal de los derechos del animal», que más tarde sería ratificada por la Unesco y por la ONU. Entre sus catorce artículos hay algunos que quiero recordar hoy. «Ningún animal será sometido a malos tratos ni actos crueles». «El abandono de un animal es un acto cruel y degradante». «Ningún animal debe ser explotado para esparcimiento del hombre». «Todo acto que implique la muerte de un animal sin necesidad es un biocidio, es decir, un crimen contra la vida».

Otro de los artículos de esa compasiva pero también racional declaración señala que: «Todo acto que implique la muerte de un gran número de animales salvajes es un genocidio, es decir, un crimen contra la especie. La contaminación y la destrucción del ambiente natural conducen al genocidio». Y es que, claro, el problema no se reduce a la crueldad de algunos individuos, sino a la de todos. Desgraciadamente, no podemos escudarnos en la responsabilidad de unos pocos. Todos somos responsables. Estamos destruyendo, sistemáticamente, la naturaleza. Son tantos los ejemplos que es imposible ofrecer una imagen realista de lo que está sucediendo. Compárense viejos —no tan viejos, de hecho—

mapas con imágenes recientes obtenidas desde satélites del mar de Aral, en lo que hoy es Kazajistán y Uzbekistán, en Asia central, y se verá cómo ha cambiado: hoy es casi un sucio y raquítico charco. «Expertos» soviéticos diseñaron sistemas de irrigación para el cultivo del algodón en una escala y con unas técnicas tales que los ríos que alimentaban el mar de Aral no podían sostener. Las tormentas de arena han dejado su lugar a tormentas de sal procedentes de las ahora secas playas. En Kenia han surgido zonas desérticas debidas a la práctica de cultivos extensivos. Es bien sabido lo que está sucediendo con la Amazonía, pero menos lo que ocurre en otros lugares: la deforestación que se ha medido en la región del Amazonas es menos de un cuarto de la que se ha identificado en algunos bosques de Estados Unidos, y no olvidemos las que afectan a tantas y tantas otras regiones de África.

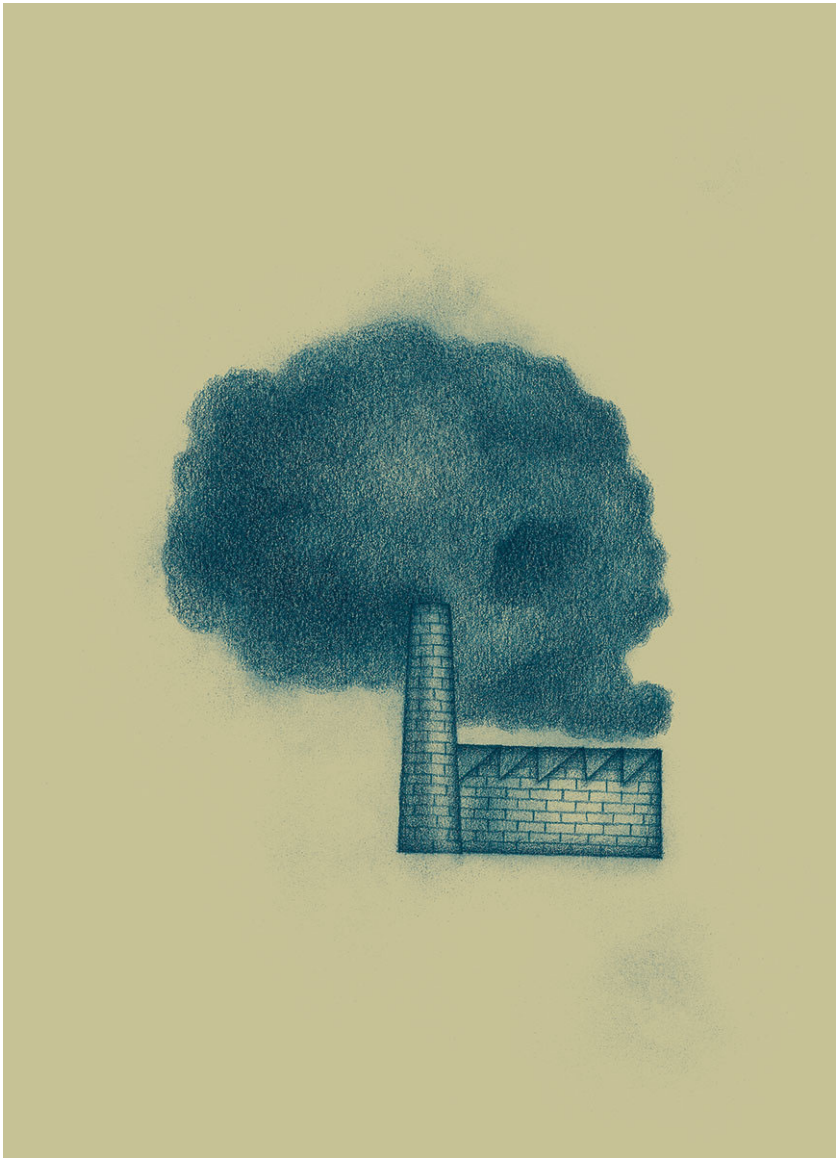
Los informes referentes a las especies que están en peligro de extinción solo pueden dejar de conmover a quienes no ven —a quienes no quieren ver— más allá de sus propios, limitados, intereses. Los datos que periódicamente se dan a conocer sobre las especies animales y vegetales que están desapareciendo o se ven amenazadas de extinción, son estremecedores.

En un libro ejemplar tanto por sus contenidos y rigor científico como por su valor moral, La diversidad de la vida (1992), el entomólogo y naturalista estadounidense Edward O. Wilson escribió unas frases que no debemos olvidar, más aún en una época como la actual, en la que tantos mitos proliferan acerca de recuperación de especies mediante clonación: «Un panda o una secuoya representan una magnitud de evolución que se da solo raramente. Se requiere un golpe de suerte y un largo periodo de prueba, experimentación y fracaso. Una creación tal es parte de la historia profunda, y el planeta no tiene los medios, ni nosotros el tiempo, para verla repetida».

El cambio climático —ya ¡imparable!, no nos engañemos con falsas esperanzas— llevará, está llevando, a la extinción de millones de especies de animales y plantas. ¿Dónde podrán vivir, por ejemplo, los magníficos osos polares cuando, debido al aumento de la temperatura de la atmósfera terrestre, se reduzcan drásticamente, si es que no desaparecen, las superficies polares?

Todavía hay quienes se resisten a aceptar que el calentamiento global está con nosotros, pero lo está. Cuando el siglo XX iniciaba su andadura, ya eran muchos los que señalaban que los inviernos iban siendo cada vez más suaves. Antes, algunos científicos del siglo XIX —como John Tyndall o Svante Arrhenius— ya habían comenzado a estudiar el efecto de la acción humana en el clima, y en 1938 un ingeniero llamado Guy Stewart Callendar pronunció una conferencia en la Royal Meteorological Society de Londres en la que anunció que, efectivamente, se estaba produciendo un calentamiento global de la atmósfera de la Tierra, y que el motivo se encontraba no en la propia e incontrolable naturaleza, sino en la acción humana, más concretamente en la industria, que quemaba combustibles fósiles emitiendo millones de toneladas de dióxido de carbono. Su predicción no era completamente fiable, pero se debería haber tomado en serio, y analizado seria y extensamente. Entonces no se hizo y ahora no lo suficiente. Las razones económicas —y no pensemos, acusándolos, solo en Gobiernos o en grandes corporaciones o industrias— se imponen a todas las encaminadas a conservar la naturaleza en las mejores condiciones posibles para sus legítimos propietarios, nuestros hijos, nietos y todos los que vendrán después de ellos. Estamos negándoles no solo sus derechos, sino algo mucho más valioso, una parte importante de su futuro. Somos, nosotros y las generaciones que nos precedieron, asesinos del futuro.

Al pensar en todo esto, imagino las caras de nuestros descendientes, de nuestros amados hijos, nietos o bisnietos, que tendrán que pagar la onerosa factura que nosotros no hemos querido asumir, y que sabrán de muchas especies animales o vegetales únicamente a través de los libros. Inadvertidamente, esas caras se transforman en los ojos de aquella perra que un día ya lejano me partió el corazón. Y me acuerdo del canalla que la abandonó, al que, siento confesarlo, le deseo que se despierte todas las noches acosado por la triste y desamparada mirada de aquel animal al que, acaso, una vez quiso. Pero lo peor de todo es que, de una forma u otra, todos somos él.



18

MODELOS Y ESPERANZAS: MARIE CURIE Y RACHEL CARSON

Nuestra especie está compuesta por dos sexos, repartidos numéricamente más o menos de forma equilibrada. Sin embargo, semejante equilibrio no se manifiesta en muchas —demasiadas— profesiones, la ciencia una de ellas. La ciencia no ha sido un hogar demasiado acogedor para las mujeres. Hace tiempo leí un artículo titulado «Cerebro de varón y cerebro de mujer», de Doreen Kimura, en el que se afirmaba que «por término medio, los hombres realizan mejor que las mujeres determinadas tareas espaciales. Son mejores que ellas en las pruebas de razonamiento matemático mientras que las mujeres tienden a superar a los hombres en velocidad perceptiva, cuando se trata de identificar rápidamente objetos emparejados. Poseen una mayor fluidez verbal. Les ganan también en cálculo aritmético y en recordar los detalles singulares de una ruta. Además, son más rápidas en ciertas tareas manuales de precisión». No creo lo que se decía allí —son muchos los casos que lo contradicen—, ni tampoco otras muchas supuestas diferencias que se proponen con frecuencia, pero supongamos que tales caracterizaciones fuesen ciertas, ¿nos sirven de algo para entender la disposición de hombres y mujeres con respecto a la actividad científica? No. En primer lugar porque sabemos que los procesos de construcción, de creatividad científica no responden a un solo patrón. Cuando repaso la historia de la ciencia, y el hecho de que durante la mayor parte de ella prácticamente ninguna mujer figura en la lista de los «grandes de la ciencia», no veo en semejante carencia diferencias biológicas, solo la marginación que hasta hace no demasiado padecieron las mujeres en lo que se refiere al acceso a la educación superior.

En una de las maravillosas tiras «cómicas» de Charles Schulz,

Peanuts, protagonizada por Charlie Brown, Snoopy y compañía, aparecen Schroeder, el niño pianista, y Lucy van Pelt, habitualmente malhumorada pero enamorada de Schroeder. Este está practicando en su pequeño piano y Lucy le explica: «Rachel Carson dice que cuando nació nuestra Luna, no había océanos en la Tierra». Al escuchar esto, Schroeder, enfadado, grita: «¡Rachel Carson! ¡Rachel Carson! ¡Rachel Carson! ¡Siempre estás hablando de Rachel Carson!». Y Lucy responde: «Nosotras, las chicas, necesitamos nuestras heroínas».

Entiendo bien a Lucy. Muchas personas, acaso la mayoría, necesitan modelos que imitar, ejemplos que les muestren que pueden ser mejores. Y en el caso de las mujeres y la ciencia esos modelos han sido particularmente necesarios, tantas han sido las dificultades que han encontrado para dedicarse a la ciencia.

La gran «heroína» de la ciencia ha sido y continúa siendo Maria Sklodowska, polaca afincada posteriormente en Francia y conocida como Marie Curie (1867-1934) después de que se casase con Pierre Curie (1859-1906). De su ciencia, de sus aportaciones a la radiactividad —fenómeno físico que no descubrió, lo hizo Henri Becquerel— se ha hablado repetidamente y es fácil recordar cuáles fueron, estando a la cabeza el descubrimiento (en colaboración con su esposo, pero siendo ella quien impulsó la investigación) de dos nuevos elementos químicos, el polonio y el radio, como también es fácil saber que fue la primera persona, hombre o mujer, en obtener dos Premios Nobel: el de Física (compartido con Becquerel y Pierre Curie) en 1903 y el de Química en 1911, en solitario. No menos conocidos son los detalles de su biografía, como su temprana viudez; las dificultades que tuvo que vencer o soportar (por ejemplo, que la Académie des Sciences rechazase su candidatura en 1911 frente a un hoy olvidado contrincante, Édouard Branly); o su humanitaria contribución a la Primera Guerra Mundial (ayudada por una de sus dos hijas, Irène —futura premio Nobel de Física— se dedicó a conducir un vehículo equipado con material radiológico, con el que se movió por las cercanías de los frentes de batalla; al final de la guerra había ampliado su servicio radiológico, llegando a poner en servicio veinte coches, conocidos como petit Curies). Pero lo que quiero recordar hoy es el ejemplo que ofreció para innumerables mujeres de todo el mundo, que vieron en ella un

modelo… y una esperanza. Fui testigo directo de ello en una ocasión. Había pronunciado en una fundación madrileña una conferencia sobre Marie Curie, a la que asistió una ingente cantidad de personas (no obviamente por mí, sino por el tema). Al término de mi exposición se me acercó una mujer, ya mayor, emocionada, para darme las gracias y decirme cuánto había significado para ella saber que una mujer pudo hacer lo que había hecho Marie Curie. Representaba una esperanza, si no ya para ella, sí para sus hijas. Nunca lo olvidaré.

Marie Curie falleció el 4 de julio de 1934. Fue incinerada en el cementerio de Sceaux, al lado de Pierre. Pero el 21 de abril de 1995, en una ceremonia encabezada por el presidente de la República francesa, François Mitterrand, los restos de ambos fueron trasladados al Panthéon de París, el lugar que Francia ha destinado para que reposen «los grandes hombres de la patria». Marie Sklodowska-Curie fue la primera mujer en recibir tal reconocimiento. «Desde su infancia —manifestó Mitterrand—, Marie Sklodowska resistió: contra las humillaciones del poder extranjero, contra su "naturaleza difícil que es preciso vencer", como ella dijo de sí misma, contra las fatalidades de la condición de la mujer, contra los dogmas de todo tipo que la pretenden encadenar. Ella quiso gobernar su vida y forjarse un destino. Y tuvo las cualidades que eran necesarias».

En la cita de los Peanuts que utilicé antes, Lucy mencionaba a Rachel Louise Carson (1907-1964), una bióloga y zoóloga marina estadounidense que, al igual que Marie Curie, fue mucho más que una heroína y un ejemplo para las mujeres: dejó un legado que sirvió y sirve para todos, independientemente de su sexo. Ese legado es un libro por el que me gustaría creer que siempre será recordada; un libro con un título hermoso, Silent Spring (Primavera silenciosa; 1962), y contenido estremecedor. En él y basándose en estudios propios, junto a otros ajenos de muy diversas disciplinas, se enfrentó al problema de la contaminación que sufre la Tierra. «Por primera vez en la historia del mundo —escribió en uno de los capítulos, significativamente titulado "Elixires de la muerte"— todo ser humano se halla ahora sometido al contacto con sustancias químicas peligrosas, desde su nacimiento hasta su muerte. Se han encontrado en peces en remotos lagos de montaña, en lombrices

enterradas en el suelo, en los huevos de pájaros, y en el propio hombre, ya que estos productos químicos están ahora almacenados en los cuerpos de la vasta mayoría de los seres humanos. Aparecen en la leche materna y probablemente en los tejidos del niño que todavía no ha nacido».

Aunque también se ocupaba de otros pesticidas, el centro de sus ataques fue el DDT (dicloro-difenil-tricloroetano), un producto que durante mucho tiempo, desde que el químico suizo Paul Hermann Müller lo sintetizase en 1936, se había utilizado con éxito para combatir a los insectos transmisores de enfermedades como el tifus, la malaria o la fiebre amarilla (algunos cálculos sostienen que su uso salvó unos cincuenta millones de vidas humanas).

Lo que en un tiempo fue bendición puede terminar convirtiéndose en maldición. Es preciso, por consiguiente, estar alertas. Y este «estar alertas» no incluye solo las consecuencias negativas que pueden derivarse de un nuevo descubrimiento, sino que implica asimismo a elementos ajenos a la lógica científica, como ilustra el caso de Rachel Carson. Conocedora la poderosa industria química estadounidense de las conclusiones a las que había llegado, gracias a unos avances del libro publicados en la revista New Yorker, y reconociendo el peligro que sus denuncias representaban para ellos, el lobby agroquímico intentó impedir su publicación presionando a la editorial, Houghton Mifflin, al igual que cuestionando los datos que incluía, la interpretación que se hacía de ellos y las credenciales científicas de la autora. Nada que no se hubiera hecho antes, ni que no se haya hecho después. Afortunadamente, no lograron su objetivo y Silent Spring se convirtió en un éxito de ventas (se vendieron medio millón de ejemplares), obligando a que se formase un Comité Asesor al Presidente para la utilización de pesticidas, e inspirando un movimiento mundial de preocupación por la conservación de la naturaleza. «Sin este libro —escribió el entonces vicepresidente de Estados Unidos Al Gore, en la introducción a una reedición (1994) de Silent Spring— el movimiento medioambiental podría haberse visto retrasado durante mucho tiempo, o no haber aparecido nunca». Aun así, el empleo de pesticidas no disminuyó, aunque sí el del DDT, que terminó siendo prohibido. La utilización de pesticidas en la agricultura estadounidense continuó aumentando: en 1988, la Agencia de Protección del Medio Ambiente informaba que las aguas superficiales de treinta y dos estados estaban contaminadas con setenta y cuatro productos químicos agrícolas diferentes.

Hoy no hablamos del DDT, y el uso y tipo de los pesticidas parece controlarse más, pero sí de los ubicuos plásticos. Se han localizado

pequeños fragmentos de plástico, esto es de microplásticos (partículas de un tamaño que oscila entre unos pocos nanómetros y cinco milímetros) en prácticamente todos los rincones de la Tierra: en el fondo de los océanos (más del 90 % de las aves marinas los tienen en sus estómagos), en la nieve del Ártico y el hielo de la Antártida, circulando por el aire y cayendo con la lluvia, en el agua o la cerveza que bebemos, incluso, ay, cuando se agita el biberón para alimentar a un bebé este puede terminar tragando más de un millón de partículas de microplásticos al día.

La capacidad humana de contaminar no tiene límites.

19

MARGINACIONES

En uno de sus libros, La falsa medida del hombre (1981), Stephen Jay Gould (1941-2002), biólogo evolutivo, paleontólogo y ensayista extraordinario, escribió unas frases que recuerdo con frecuencia y que él pensó para aquellos que sufrían o habían sufrido marginaciones por supuestas medidas de inteligencia: «Pasamos una sola vez por este mundo. Pocas tragedias pueden ser más vastas que la atrofia de la vida; pocas injusticias más profundas que la de negar una oportunidad de competir, o incluso esperar, mediante la imposición de un límite externo, que se intenta hacer pasar por interno». Históricamente no existe colectivo más extenso que pueda aducir haber sido objeto de «imposiciones de límites externos» que el de las mujeres. Ya avancé algo de esto en el capítulo precedente a propósito de Marie Curie y Rachel Carson, quienes a pesar de los muchos obstáculos que tuvieron que vencer pudieron desarrollar sus profesiones científicas y alcanzaron reconocimiento.

No es necesario repasar con mucho detalle la historia de la humanidad para apreciar el inmenso desequilibrio que ha existido entre la presencia de hombres y mujeres en las facetas que determinaron las líneas maestras del desarrollo humano. Y esto sucedió por diversas razones —las fisiológicas entre ellas—, pero aunque se suela hablar de «prejuicios» seguramente sea más adecuado utilizar el término «intereses» por parte de los varones. La manifestación más transcendente de esa imposición de límites externos fue en el acceso a la educación. En Inglaterra, por ejemplo, la patria de Harvey, Newton, Shakespeare, Faraday, Darwin, Lyell, Maxwell, Lister, Rutherford, Fleming y tantos otros, hasta mediados del siglo XIX no comenzó a considerarse seriamente la cuestión del acceso de las mujeres a la educación secundaria, no ya universitaria. Fue entonces cuando se fundaron Queen's College (1848), Ladies' College de Bedford Square (1849) o North London

Collegiate School (1850), dedicados a la educación secundaria de las mujeres. El camino hacia la admisión plena en la universidad fue más largo y complicado. A pesar de que uno de los puntos de la Carta de la Universidad de Londres era conceder títulos de «todas las clases y denominaciones, sin ningún tipo de distinción», las mujeres encontraron serios problemas para obtenerlos. En mayo de 1856, el Registrar de la universidad recibía la siguiente carta, firmada por Jessie Meriton White (1832-1906): «Señor, ¿puede una mujer llegar a ser candidata para un Diploma en Medicina si, al presentarse al examen, aporta todos los requisitos de carácter, capacidad y estudio certificados por una de las Instituciones reconocidas por la Universidad de Londres?». Cuando llegó, la respuesta fue para informarla de que no se consideraba capacitadas a las mujeres como para ser admitidas a candidatas de los títulos que otorgaban. No tuvo, pues, Jessie White la fortuna de abrir un nuevo capítulo en la historia de la universidad londinense, pero no hay duda de que debía de ser una mujer de carácter: se casó con un conde italiano, y llegó a ser famosa como Madame Mario durante la revolución italiana; fue la líder de un grupo de mujeres que actuaron de enfermeras en los hospitales de Nápoles. Hubo que esperar a 1878 para que el University College de Londres se convirtiera en el primer centro universitario coeducacional de la nación, aunque en realidad no de manera completa, ya que su Facultad de Medicina se resistió a admitir mujeres hasta 1917. ¿Y qué pasó en las dos más famosas universidades inglesas, Oxford y Cambridge? Allí fue mucho peor: en Oxford, las mujeres fueron admitidas como alumnas ordinarias en 1920, y en Cambridge, en 1921, se llegó a un compromiso decidiendo el Consejo de la Universidad que las mujeres podían obtener títulos, con la condición de que el alumnado de sus dos colleges femeninos, Newnham y Girton, no sobrepasase, sin un permiso especial del Senado, la cifra de 500.

Si miramos a Francia encontramos que durante la segunda mitad del siglo XIX la situación legal de la mujer era bastante buena. En principio no estaban excluidas ni de la educación superior ni de las profesiones, con la excepción de la abogacía, que les estuvo vetada hasta 1899. Ahora bien, en la práctica sí que existían problemas; era difícil que fuesen admitidas en la universidad, ya que hasta 1905 las escuelas estatales femeninas no preparaban para la

obtención del baccalauréat, requisito imprescindible para entrar en ella. Hasta aquel año la forma para acceder a una carrera universitaria era obtener un permiso especial del Ministerio de Instrucción Pública. La primera autorización fue para que estudiasen Medicina. En 1901 el número de estudiantes femeninas en las universidades francesas era de 900, lo que equivalía a un porcentaje del 3 % sobre el total de alumnado.

En España, en lo que se refiere a estudios universitarios, la situación fue un tanto curiosa ya que, ante la ausencia de mujeres en las aulas universitarias y el que parecía que estas no tenían ninguna intención de adentrarse en ellas, la legislación no contemplaba ni la posibilidad ni la prohibición de su admisión. Fue en 1888, cuando ya 10 mujeres habían cursado estudios universitarios, que se estableció para las mujeres la obligatoriedad de pedir un permiso especial para poder matricularse oficialmente. Y el que pudiesen matricularse por libre en la enseñanza universitaria oficial, sin previa consulta a la autoridad, no fue posible hasta 1910. La excepcional incorporación a las aulas universitarias de algunas mujeres antes de concluir el siglo XIX (un total de 15 entre los años 1880-1890; 7 en Medicina y Cirugía, 3 en Ciencias, 3 en Filosofía y Letras y 2 en Farmacia) no significó su ejercicio profesional, salvo en aquellas especialidades consideradas socialmente más «adecuadas» (Medicina femenina e infantil, Farmacia), menos aún su incorporación a la investigación. Recordemos que la primera catedrática universitaria en España fue (en 1916) la escritora Emilia Pardo Bazán, y que lo fue con el voto en contra del claustro de la Universidad Central de Madrid.

Y si fijamos muestra mirada en el ámbito de la práctica de la ciencia, no solo encontramos ausencias sino también presencias en las que el dolor convive con la más amarga de las iras. En astronomía, donde hubo más afluencia de mujeres que en otras disciplinas aunque por lo general en puestos secundarios, existen algunos ejemplos sangrantes. Uno de ellos corresponde a Williamina Fleming (1857-1911), una emigrante escocesa, graduada en una escuela pública, madre separada que trabajó durante treinta años en el Observatorio de Harvard, llegando a ser una astrónoma respetada: de las 23 novas identificadas en Occidente entre 1572 y 1899, 7 lo fueron por Fleming.

Fleming estuvo bien considerada por el director del Observatorio, el respetado astrónomo Edward Pickering…, pero hasta cierto punto: era, al fin y al cabo, nada más que una mujer. Por su parte, Fleming respetaba a su director, pero no tanto como para no indignarse ante un tratamiento que consideraba injusto cuando lo comparaba con el que recibían sus colegas masculinos. Así, el 12 de marzo de 1900, anotaba en su diario:

«Tuve alguna conversación con el director con relación al salario de las mujeres. Parece pensar que ningún trabajo es demasiado o demasiado duro para mí, no importa la responsabilidad o las horas que dure. Pero en cuanto saco a relucir la cuestión del salario se me dice inmediatamente que recibo un salario excelente teniendo en cuenta lo que cobran las mujeres… Algunas veces me siento tentada de abandonar y dejarle que intente con otra persona, o que alguno de los hombres haga mi trabajo, para que así se dé cuenta de lo que está obteniendo por los 1.500 dólares anuales que me paga, comparado con los 2.500 que reciben otros ayudantes. ¿Se para a pensar en algún momento que yo tengo una casa y una familia que mantener lo mismo que los hombres? Pero supongo que una mujer no tiene derecho a tales lujos. ¡Y a esta se la considera una era ilustrada!».

Mi segundo ejemplo tiene como protagonista a Cecilia Helena PayneGaposchkin (1900-1979), una inglesa que había estudiado en el Newnham College de Cambridge y que terminó desarrollando una exitosa carrera, convirtiéndose en 1956 en la primera mujer full professor (catedrática) de la historia de la Universidad de Harvard.

No me detendré en los obstáculos que tuvo que vencer compitiendo con otros (varones) astrónomos; únicamente recordaré uno, que resulta casi más sangrante pues lo encontró en su propia familia, que ella misma mencionó en su autobiografía:

«Una mujer conoce la frustración de pertenecer a un grupo minoritario. Podemos no ser realmente una minoría, pero ciertamente que estamos en inferioridad de condiciones. Tempranas experiencias me habían enseñado que mi hermano era valorado por encima de mí. Su educación dictaba los movimientos de la familia. Debía ir a Oxford a cualquier precio. Si yo quería ir a Cambridge,

debía apañármelas por mí misma. Pronto aprendí la lección de que un hombre podía escoger una profesión, mientras que una chica debía "aprender a mantenerse por sí sola". Presumiblemente, esto debía ser así hasta que encontrara un marido. Pero pronto vi que difícilmente yo podría aspirar a hacer eso, ya que no tenía dinero propio. Tal era el código social victoriano en el que crecí».

Vuelvo a mi cita inicial: «[…] pocas injusticias más profundas que la de negar una oportunidad de competir, o incluso esperar, mediante la imposición de un límite externo, que se intenta hacer pasar por interno».

20

BELLEZA, VERDAD Y SIMETRÍA

Belleza y Verdad son palabras que atraen poderosamente la atención, pero cuando forman parte de una misma proposición, cuando se pretende relacionarlas, lo primero que hay que hacer es intentar definirlas. Y no es fácil, ya que el concepto de «Belleza» posee una fuerte carga subjetiva; no todos coincidirán en su apreciación de obras de, por ejemplo, Botticelli, Velázquez, Francis Bacon, Lucien Freud, Goya, Klee, Picasso, Mondrian, o en manifestaciones como un grafiti, ni en el juicio que merecen distintos tipos de música (clásica, atonal, jazz, rock…). La apreciación de la belleza depende de muchas variables, la mayor parte de carácter personal; nuestros juicios pueden verse influidos por elementos como la sensibilidad a colores o sonidos, estados emocionales o la interpretación que otros han transmitido de la obra contemplada o escuchada.

Y ¿qué pasa con la «Verdad», que se supone menos relativa, pero que ha sido una de las grandes víctimas del postmodernismo, que defiende que pueden existir tantas «verdades» como individuos? Ante estas razonables dudas, una posibilidad es mirar a la Ciencia, preguntarse si en ella los conceptos de «Belleza» y «Verdad» son menos ambiguos. Con respecto a la «Verdad» no parece que existan dudas: con todas las limitaciones temporales que se quiera (lo que hoy parece seguro, acaso mañana no lo sea tanto), la ciencia busca la Verdad, pequeña o grande; se ocupa de identificar lo que existe en la naturaleza, en el universo, y en establecer las leyes que rigen lo que existe o sucede allí. Más impreciso es el papel de la Belleza en la ciencia. Pero existe, aunque depende de la sensibilidad del científico en cuestión. En su hermoso librito de 1940, Apología de un matemático, el matemático inglés Godfrey Harold Hardy (1877-1947) escribió: «Los modelos de un matemático, al igual que los de un pintor o un poeta deben ser hermosos; las ideas, como los colores o las palabras, deben ensamblarse de una forma armoniosa.

La belleza es la primera señal, pues en el mundo no hay un lugar permanente para las matemáticas feas». Un poco antes, en 1938, uno de los creadores de la mecánica cuántica, Paul Dirac (1902-1984), declaró: «En sus esfuerzos por expresar las leyes fundamentales de la naturaleza el investigador debería buscar sobre todo la belleza matemática».

Científicos como Hardy o Dirac supieron explotar bien la idea, sus ideas, de belleza. En el caso del segundo, su formulación de la mecánica cuántica al igual que la ecuación relativista del electrón, que propuso en 1928 y de la que surgió, como una consecuencia impuesta por la ecuación, la idea de la antimateria (cuando se encuentran materia y antimateria, se aniquilan, produciendo

energía), son deudoras de lo que entendía por «belleza matemática». Pero ni todas las personas tienen semejante sensibilidad, ni la belleza de una teoría se manifiesta con claridad. Si, por ejemplo, escribiésemos, con todos los términos que intervienen en ellas, las ecuaciones básicas de la electrodinámica de Maxwell (uno de los pilares de la «civilización electromagnética», en la que vivimos) no veríamos en ellas mucha belleza.

Ahora bien, en los plurales nichos científicos existe un lugar que podemos asociar a la idea de belleza, y es el concepto de «Simetría». Un notable matemático alemán, Hermann Weyl (1885-1955), escribió en un libro titulado, precisamente, Simetría (1952): «Si no me equivoco la palabra simetría tiene dos acepciones en el lenguaje corriente. En el primer sentido, simétrico significa algo así como bien proporcionado, bien equilibrado, y simetría indica esa especie de concordancia entre varias partes por la cual estas concurren a integrarse en un todo. La belleza está ligada con la simetría». Seguramente nadie haya mostrado con tanta sencillez como elegancia la relación entre «belleza» y «simetría» como Leonardo da Vinci con El hombre de Vitrubio (1501). Desde el punto de vista de la matemática ese dibujo es un ejemplo de «simetría bilateral», la simetría de izquierda y derecha, muy característica en la estructura de los animales superiores, especialmente en el cuerpo humano. Que la simetría es bella, o que la percibimos como tal, es algo de lo que encontramos evidencia en innumerables seres y obras; por ejemplo, en la simetría octogonal del interior (multiplicada por dos en el exterior) de la iglesia de Santa María de los Ángeles de Florencia, diseñada por Brunelleschi, que se comenzó a construir en 1434. En la ciencia, en la física en particular, la presencia de las simetrías es menos aparente para el profano, pero desempeñan un papel muy importante. Si nos fijamos en las ecuaciones básicas de la teoría de la relatividad general que Einstein completó en 1915, una teoría que ha sido calificada como «una de las construcciones más hermosas de la física», al igual de lo que sucede con la teoría de Maxwell, uno no ve en ellas mucha belleza, pero la encuentra cuando entiende el principio de simetría que subyace en ellas: «las leyes de la física deben tener la misma forma independientemente del sistema de coordenadas en que se expresen». De hecho, una buena parte de la física teórica actual se basa en principios de simetría, la mayor parte de las veces muy sofisticados.

Con independencia de la asociación que podamos establecer entre el concepto de «belleza» y el de «simetría», este posee un atributo diferente y sorprendente, atributo que puso de manifiesto, ahora hace un siglo, una matemática extraordinaria, que por ser mujer no logró un puesto estable en su Alemania natal y que cuando emigró a Estados Unidos, obligada por su condición de judía, tuvo la desgracia de fallecer muy pronto como consecuencia de una operación en principio poco peligrosa: Emmy Noether (1882-1935). En 1918 Noether publicó un resultado, conocido como «teorema de Noether», que muestra que a toda simetría le corresponde una ley de conservación. Así —es el caso más sencillo—, el que una ley física, como las de la mecánica de Newton, no cambie cuando se modifica el origen de tiempo que se toma (simetría bajo traslación temporal) implica la conservación de la energía. Y no hay que olvidar la importancia que tienen las leyes de conservación en la física, «agarraderos» que utilizan siempre que pueden los científicos para orientarse en un mundo a veces caprichoso e impredecible.

21

LA RELATIVIDAD GENERAL

La historia de la ciencia no es parca en logros extraordinarios, en innovaciones (descubrimientos experimentales y construcciones teóricas) que no habían soñado las generaciones precedentes. De toda esa pléyade de novedades, sobre las cuales se asienta la historia de la humanidad, una destaca en mi opinión como la más original e insospechada: la teoría de la relatividad general, a la que aludí brevemente en el capítulo anterior. Su creador fue uno de los grandes iconos del siglo XX: Albert Einstein (1872-1955).

Testimonio de la fama que su creador alcanzó, celebridad que no se ha extinguido, es el que en el número del 31 de diciembre de 1999 la revista Time lo designase «Person of the Century XX» («Personaje del siglo XX»), quedando «finalistas», Franklin Delano Roosevelt y Mohandas Gandhi. Tres personajes perfectamente adecuados a los tres grandes apartados que caracterizaron el siglo XX: «Ciencia y tecnología», «Democracia» y «Derechos civiles». En el editorial en el que se justificaba la elección, se decía: «Dentro de cien años, cuando entremos en otro siglo —incluso, dentro de diez veces cien años, cuando entremos en un nuevo milenio—, el nombre que demostrará ser más perdurable de nuestra propia asombrosa era será el de Albert Einstein: genio, refugiado político, humanista, descifrador de los misterios del átomo y del universo». Es posible que suceda esto, pero no lo aseguraría.

La teoría de la relatividad general fue el mayor logro de Einstein, mucho más que la teoría de la relatividad especial (1905), con la que estaba entroncada. Mientras que la formulación especial debe aplicarse a cualquiera de las fuerzas de la física conocidas, la teoría general se ocupa únicamente de la fuerza gravitacional. Y al contrario que la primera, que apareció completa en un único artículo, la relatividad general exigió a Einstein un largo camino,

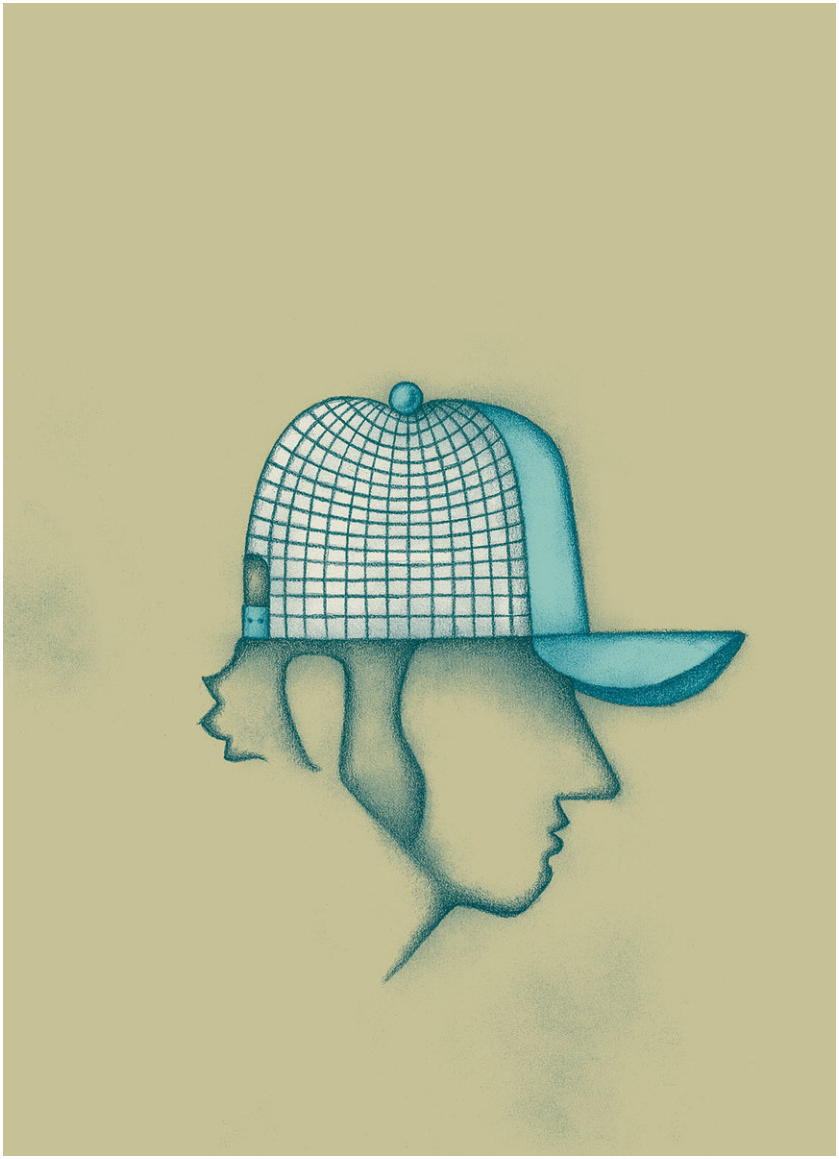
básicamente desde 1907 hasta que el 25 de noviembre de 1915 puso fin a su búsqueda.

Comprendo que le costase tanto. Nadie antes de Einstein había pensado —con fundamento, no como «idea loca»— en el tipo de estructura en que se basa la relatividad general, hasta tal punto que es difícil imaginar que algún otro científico hubiese producido el tipo de teoría a la que él llegó. ¿Y cuál es esa estructura? Hasta la relatividad general, todas las teorías de la física utilizaban un marco geométrico, un «espacio» que no dependía de lo que incluye, de su contenido energético-material. El espacio —de hecho, el espacio-tiempo, pues ambos, espacio y tiempo se hermanan en una unidad indisoluble— de la teoría gravitacional einsteiniana sí depende de ese contenido, y como este varía (los cuerpos se desplazan, las energías son cambiantes), la geometría del espacio-tiempo no puede ser fija. Afortunadamente, en la época de Einstein ya se disponía del instrumento adecuado para dar cabida a semejante característica: las geometrías no euclidianas (esto es, curvas), desarrolladas en el siglo XIX por Gauss, Lobachevskii y Bolyai, que sistematizó Riemann en 1854. Todavía hoy, salvo la relatividad general, todas las teorías de la física se basan en marcos geométricos «prefijados y estáticos».

Aceptamos o rechazamos las teorías científicas por su capacidad de «explicar» los fenómenos que observamos. En el caso de la relatividad general, las primeras predicciones que se podían someter a pruebas fueron tres: el movimiento anómalo del perihelio de Mercurio (lo que la teoría einsteiniana predecía se ajustaba a lo ya conocido, inexplicado con la teoría newtoniana); el desplazamiento hacia el rojo de las líneas espectrales de la radiación emitida por estrellas, algo que entonces se encontraba fuera de las posibilidades experimentales de observación; y la curvatura de los rayos de luz debido a un campo gravitacional. La comprobación de esta última predicción la llevó a cabo en 1919 una expedición británica, utilizando un eclipse de Sol.

Medir con precisión los datos que mostraban las placas fotográficas tomadas durante el eclipse era una tarea complicada (los efectos eran minúsculos), y no fue hasta noviembre de ese año cuando se finalizaron los cálculos y se pudieron anunciar públicamente los

resultados. La notificación se realizó el 6 de noviembre de 1919, en Londres, durante una reunión conjunta de la Royal Society y la Royal Astronomical Society. Una audiencia numerosa, formada principalmente por los miembros de ambas sociedades científicas, se reunió bajo la presidencia de J. J. Thomson, presidente de la Sociedad y premio Nobel de Física en 1906. Alfred North Whitehead, distinguido matemático y filósofo que asistió a aquella reunión, describió años más tarde el ambiente que la rodeó: «Toda la atmósfera de tenso interés era exactamente la de un drama griego: nosotros éramos el coro comentando el decreto del destino revelado en el desarrollo de un incidente supremo. Había una cualidad dramática en la misma representación; el ceremonial tradicional y, en el trasfondo, el retrato de Newton para recordarnos que era la mayor de las generalizaciones científicas».



Cuando sucedió esto Einstein era ya bien conocido y respetado en la comunidad internacional de los físicos, pero un completo desconocido fuera del ámbito científico. Todo cambió a partir del 7 de noviembre, esto es, el día después de la reunión en la que se presentaron los resultados del eclipse. Aquel día The Times de Londres anunciaba:

«REVOLUCIÓN EN CIENCIA

»Nueva teoría del universo

»Ideas newtonianas desbancadas».

Comenzó entonces el mito Einstein, el personaje de renombre universal, posición que nunca abandonaría y que continúa ocupando todavía. Pero dejemos al personaje y centrémonos en su obra, que es lo verdaderamente importante para un científico.

Una vez completada la nueva teoría relativista, Einstein razonó que como en el universo la fuerza dominante es la gravitacional, podría aplicar la relatividad general al conjunto del universo. Nació así la Cosmología entendida como disciplina auténticamente científica, frente a las pobres cosmogonías anteriores. Einstein buscó inmediatamente una solución de esa cosmología que pudiera representar el universo, que él suponía estático, salvo pequeñas variaciones locales. Introduciendo un elemento nuevo, encontró esa solución, pero su modelo fue finalmente arrinconado ante la evidencia experimental —proporcionada por el astrofísico estadounidense Edwin Hubble (1889-1953) a comienzos de la década de 1930— de que el universo no es estático, sino que se expande. Afortunadamente para la cosmología relativista, existen soluciones para tal universo en expansión.

No obstante tales éxitos, durante décadas la relatividad general tuvo poco o nada que ofrecer. Se estancó, cayó en manos de matemáticos que analizaron su estructura matemática. Reviviría a partir de la década de 1970, cuando los desarrollos tecnológicos abrieron nuevas ventanas a la exploración del universo, escenario en el que la relatividad general tenía mucho que decir. Dentro de esas nuevas ventanas, ninguna ha captado más la atención que la de los denominados «agujeros negros», la posibilidad de que existieran regiones del espacio-tiempo relativista en los que este se «rompiese»; esto es, que en ciertas situaciones (objetos estelares muy masivos) se generase una región que absorbería todo lo que, merced a la atracción gravitacional, cayese en ella, y de la que nada podría salir —ni siquiera la luz— como si fuese un misterioso pozo sin fondo. Y si la luz no puede salir tampoco podremos ver lo que sucede, solamente sentir los efectos gravitacionales producidos por

la enorme masa «escondida» en el agujero. Durante décadas esta posibilidad fue descartada: se trataba, decían la mayoría de los especialistas en relatividad, de «fantasmas matemáticos» que había que descartar. Sin embargo, a finales de la década de 1960 Stephen Hawking (1942-2018) y Roger Penrose (n. 1931) publicaron, bien por separado, bien conjuntamente, una serie de artículos con una base más matemática que física, en los que demostraban que, bajo ciertas condiciones, en la teoría de la relatividad general era inevitable que apareciesen «singularidades», lugares en los que el espacio y el tiempo se «rompen».

¿Espacio-tiempo que «se rompe»? ¿Pozos cósmicos sin fondo? ¿Cómo creer que pueden existir semejantes cuerpos? Pues resulta que existen. Primero llegaron evidencias indirectas: agujeros negros que formaban parte de un sistema doble, detectados al observar las variaciones en el movimiento de su acompañante. Pero en 2015 llegaron evidencias más seguras. Y lo hicieron al comprobar otra de las predicciones de la teoría de la relatividad general, la de que cuando un cuerpo con masa experimenta una aceleración debe emitir (perder) energía, una «radiación gravitacional». Detectar este tipo de radiación —que alcanzaría a la Tierra con muy pequeña intensidad— se convirtió en el santo grial del mundo de la relatividad general. Pero el 11 de febrero de 2016, dos observatorios, LIGO (Estados Unidos) y Virgo (Italia), construidos para detectar las ondas gravitacionales, anunciaron que el 14 de septiembre de 2015 habían conseguido identificar la radiación gravitacional producida por el choque de dos agujeros negros de masas 36 y 29 veces la de nuestro Sol. Y más aún, en abril de 2019 se presentó una «fotografía» que se había obtenido («compuesto» es más correcto decir) de un agujero negro supermasivo situado en el corazón de la galaxia M87, alejada de nosotros 55 millones de años luz.

Hoy se sabe que los agujeros negros son muy frecuentes en el universo, que existen y de tamaño gigantesco en el centro de, tal vez, todas las galaxias. Resulta, en consecuencia, que el misterio que caracteriza a estas entidades cósmicas se extiende al propio universo. Puestos a imaginar, cabría pensar que poco a poco toda materia que existe en el cosmos terminará agrupándose en un inimaginablemente gigantesco superagujero negro. Entonces el

espacio en expansión acabará quedándose en silencio. Pero ¿será esta la puerta hacia un nuevo universo, hacia un nuevo Big Bang?

22

EL FUTURO DE NUESTRA ESPECIE

Vivimos desde hace décadas inmersos en una revolución científica que afecta al conjunto de las ciencias biomédicas y uno de cuyos epicentros se encuentra en la biología molecular. Las revoluciones que tuvieron lugar en la física durante la primera mitad del siglo xx modificaron radicalmente conceptos tan básicos como los de espacio, tiempo y causalidad, y aportaron novedades como el transistor (1947), un «hijo» de la física cuántica que desencadenó innovaciones que cambiaron, literalmente, nuestro mundo, en las comunicaciones, la economía, el trabajo y las relaciones sociales. No es posible minusvalorar semejante revolución, pero aun así carecía de una característica que el actual desarrollo de la biomedicina molecular posee: una relación íntima con la vida, en especial con nuestro propio cuerpo y las propiedades y funciones que este puede desempeñar, entre ellas dos tan importantes como nuestro código genético (genoma) y la reproducción.

Las épocas de revoluciones científicas son tiempos en los que se producen constantemente novedades, con innovaciones antes insospechadas, que inciden en la sociedad. Así, desde que James Watson (n. 1928) y Francis Crick (1916-2004) propusieran en 1953 el modelo para la molécula de la herencia, el ADN, una doble hélice que se ha convertido en uno de los iconos de nuestro tiempo, no han hecho sino llegar novedades: en torno a 1970 surgieron técnicas para cortar y pegar segmentos de cadenas de ADN (lo que se denomina «ADN recombinante»), con lo que esto significaba para el diseño de nuevos tipos de vida, animal y vegetal (transgénicos); mapas de genomas, incluido el de los humanos; células madre; clonación… A este creciente catálogo de descubrimientos se unió a comienzos de 1990 una técnica bautizada con el nombre de CRISPR, acrónimo de «Clustered Regularly Interspaced Palindromic Repeats», esto es, «repeticiones palindrómicas cortas agrupadas y

regularmente interespaciadas». Se trata de un sistema de «edición genética», esto es, que, como las técnicas de ADN recombinante, permite modificar un genoma, cortar y pegar, pero con una precisión sin precedentes y con poco coste económico, por lo que esta técnica está transformando profundamente la investigación biológica y médica.

La senda en que se encontraba inmersa la medicina biomolecular hacía imaginables avances de este estilo. Con un tipo de «terapia génica» ya se había conseguido tratar algunos casos de los denominados «niños burbuja» (niños afectados por inmunodeficiencia combinada grave), insertando material genético adecuado en células inmaduras de la médula ósea del interior de los

huesos del niño. Pero con CRISPR es posible ir más lejos. La gran diferencia es que con ella no solo se puede, por ejemplo, corregir el gen que provoca una miocardiopatía hipertrófica (dolencia del corazón que puede provocar la muerte súbita) sino que es posible modificar el genoma de células germinales —óvulos, espermatozoides y embriones— que se transmiten a la descendencia.

Aún queda mucho por descubrir para que esta terapia se pueda aplicar de forma sistemática a personas. Entre las incógnitas que existen es que se sabe poco sobre «detalles» tan importantes como la interacción entre los genes del genoma, información necesaria para poder aplicar la terapia génica a muchas enfermedades. ¿Enfermedades únicamente? Es obvio que, en principio, técnicas como estas seguramente se podrán aplicar para intervenir en muchas características humanas (altura, resistencia física, color de los ojos…) y quién sabe, puestos a imaginar, si también a otras como la inteligencia, habilidad matemática o musical, etc. Sin embargo, esto puede conducir a situaciones indeseables. Por ejemplo, es muy posible que cuando estas técnicas sean fiables —y lo serán— no estén al alcance de cualquiera, por lo que se podrían establecer diferencias físicas notorias entre aquellos que puedan pagarlas y quienes no pueden hacerlo. Y si se encuentran al alcance de todos, entonces se abre la puerta a intervenir, en el plazo de muy pocas generaciones, en la evolución humana, cambiando de esta forma, y de manera radical, el mecanismo de la evolución mostrada por Darwin; esto es, cambios sustanciales que terminaban por producir nuevas especies, pero que exigían muy dilatados rangos temporales.

Enfrentados con estas posibilidades, resulta evidente que es necesario establecer códigos éticos legales que determinen lo que se puede o no hacer. Me aterra la posibilidad de que llegue un día en el que algunos privilegiados puedan dejar a su descendencia en condiciones físicas e intelectuales superiores a las de los de otras clases con menos posibilidades económicas, aunque no dejo de pensar que la historia es testigo de lo habituales que han sido las diferencias entre clases, que siempre se han producido discriminaciones en razón a la cuna en la que se ha nacido, como es, sin ir más lejos, la posibilidad de estudiar en centros elitistas

(muy caros), en los que se desarrollan círculos de relaciones cerrados («colegios invisibles»), o de acceder a centros médicos para tratamientos no accesibles a la inmensa mayoría de las personas. Se me dirá que, precisamente, combatir tales privilegios ha sido una de las luchas históricas de la humanidad y que no ha sido poco lo que se ha conseguido. Es verdad, pero también lo es que persisten y aumentan las diferencias entre un pequeño grupo de muy poderosos económicamente y el resto de la población. De continuar esta tendencia, existe el peligro, insisto, de que las futuras terapias génicas puedan beneficiar únicamente a unos cuantos, añadiendo una nueva barrera, genético-fisiológica esta vez y por tanto más difícil de superar, a las ya existentes. ¿Debemos, por consiguiente, introducir límites legales a las posibilidades de la futura medicina génica? Seré sincero: no creo que esto sea posible. Si en general la historia de la humanidad ha demostrado que todo lo que puede hacerse se hace, ahora nos encontramos ante la posibilidad de sanar y de mejorar atributos humanos. Las esperanzas igualitarias, la de que la ciencia no añada una barrera social más a las ya existentes, pasan por el propio futuro de la ciencia médica, que terminará, espero, consiguiendo que las técnicas génicas sean seguras y baratas.

23

¿HOGARES EXTRATERRESTRES?

La ciencia actual nos indica que nuestro planeta, la Tierra, no tiene un futuro ilimitado. El Sol, una estrella de alrededor de 4.500 millones de años de edad, es nuestro protector, la fuente que nos suministra la energía indispensable para vivir, pero será también nuestro asesino, en el supuesto de que nuestra especie exista —algo que dudo— cuando dentro de algo menos de 2.000 millones de años, al irse agotando el hidrógeno de su núcleo, comience a contraerse y a aumentar su temperatura hasta el punto de que se produzcan reacciones químicas de fusión con helio (después del hidrógeno, el elemento más ligero) que harán que la esfera solar aumente su tamaño, convirtiéndose en lo que se denomina una «gigante roja». Esta fase de crecimiento durará poco en términos cósmicos: unos 10 millones de años. Al finalizar, el radio del Sol será tan grande que habrá absorbido a Mercurio y a Venus y, tal vez, también a la Tierra. Pero aunque no lo haga, la temperatura en la superficie terrestre será tan elevada que no podrá existir en ella ningún tipo de vida como la que ahora conocemos. Nuestro destino terrestre está sellado y no hay, ni habrá, nada que podamos hacer al respecto. La supervivencia de nuestra especie será, si acaso es posible, viajar a destinos planetarios muy alejados.

Esto, buscar algún hogar alejado del Sol, es lo que defendió en varias ocasiones Stephen Hawking (1942-2018): «La supervivencia de la raza humana —manifestó— dependerá de su capacidad para encontrar nuevos hogares en otros lugares del universo, pues el riesgo de que un desastre destruya la Tierra es cada vez mayor». Al referirse a «desastres», Hawking no estaba pensando, supongo, especialmente en la «reconversión» del Sol, demasiado lejana en el tiempo, sí, creo, en avatares del tipo del impacto en la Tierra de un meteorito de las dimensiones del que acabó con los dinosaurios, un suceso no improbable; o tal vez pensaba en que las condiciones

físicas de este planeta-hogar nuestro —agotamiento de recursos naturales, cambios climáticos— difícilmente serían soportables para los humanos.

Si se trata de diseminar la semilla humana por el espacio, una primera parada debería ser Marte, que posee la ventaja de ser, después de Venus, el planeta más cercano a la Tierra: la distancia, variable (recordemos, las órbitas planetarias son elípticas), oscila entre 60 y 70 millones de kilómetros. Venus está más próximo a nosotros, a unos 40 millones de kilómetros, pero es un destino problemático: posee una atmósfera compuesta en su mayor parte de dióxido de carbono, lo que produce un efecto invernadero que hace que la temperatura en su superficie pueda llegar a unos 450 grados centígrados, y su presión atmosférica es 90 veces superior a la terrestre. Así que si se trata de establecer colonias extraterrestres, ¡comencemos por Marte!, más aún, si resulta que tiene agua (probablemente bajo la forma de hielo como sugieren los resultados de sondas enviadas allí por la NASA). También está la cercana Luna, pero esta ni tiene atmósfera ni agua. En cuanto a Júpiter, que sigue a Marte en proximidad a la Tierra, se encuentra a la friolera de 590 millones de kilómetros de distancia.

Hawking no estaba solo en semejantes ideas. Antes que él Freeman Dyson (1923-2020), otro distinguido físico y matemático (la electrodinámica cuántica, a la manera de Richard Feynman, le debe mucho), además de hábil divulgador, defendió ideas parecidas. En uno de sus artículos, de 1968, escribió: «La expansión de la humanidad por el espacio nos traerá beneficios en tres aspectos principales». Se refería a que «sería socialmente deseable y económicamente ventajoso trasladar muchas de las industrias más contaminantes al espacio», donde estaría «el grueso de la industria pesada». En la Luna estarían «la mayoría de las extracciones mineras», quedando la Tierra «reservada para el goce de sus habitantes como un lugar verde y placentero». Enfrentado con el riesgo de una guerra nuclear, Dyson defendía también la «emigración de un número sustancial de personas a lugares lejanos del Sistema Solar». Se trataba de encontrar refugios espaciales en los que nuestra especie pudiera «llevar a cabo la promesa de nuestro destino».

Yo no comparto semejantes ideas. Ignoro cuál puede ser semejante «promesa» y no creo que la semilla de nuestra especie merezca sobrevivir si es incapaz de resolver sus problemas «en casa» y se ve forzada a buscar hogares extraterrestres, sin duda más inhóspitos. Si pensamos en Marte, recordemos que la composición de su atmósfera

consiste fundamentalmente en dióxido de carbono (95 %), nitrógeno (2,7 %), argón (1,6 %) y en porcentajes mucho menores de oxígeno, monóxido de carbono, vapor de agua y otros gases. En cuanto a la presión en su superficie, es comparable a la de la atmósfera terrestre a una altura de 30 kilómetros, y su temperatura media superficial es de 55 grados bajo cero. ¿Merece la pena esforzarse en soportar tales condiciones, tenga o no agua, albergue o no algún tipo de vida (bacteriana, acaso), y tratar de ir modificando su atmósfera y superficie, algo que debería hacerse durante periodos prolongadísimos de tiempo? ¿O convertir la Luna en almacén de desechos terrestres y cuenca minera, lo que exigiría, entre otras medidas, establecer «puentes aéreos» con la Tierra? ¿No sería más sencillo cuidar, con procedimientos sostenibles (muchos ya inventados), este hogar nuestro terráqueo, además de evitar la superpoblación?

La admiración que siento por Hawking y Dyson como científicos se desvanece cuando veo algunas de las ideas que defendieron. Su imaginación y curiosidad científicas se sobreponen a otras consideraciones. Una cosa es averiguar, por ejemplo, si existe vida en Marte, o explorar su geología, tal vez con misiones de astronautas, lo que nos enseñaría mucho acerca de importantes cuestiones científicas, y otra proponer empresas que puedan empañar, si no servir de excusa para olvidar, lo que constituye un deber mucho más importante: cuidar de que la humanidad, la presente y, sobre todo, la venidera, disfrute, en armonía e igualdad, del hogar en el que la vida —toda la vida, incluyendo la nuestra— surgió.

Hace muchos años, en Bucarest, escuché una conferencia del notable físico nuclear Victor Weisskopf (1908-2002) que terminó con la siguiente frase: «La compasión sin conocimiento es ineficaz, el conocimiento sin compasión es inhumano». Por «conocimiento» quería decir «ciencia», y sin duda entendía «compasión» como el deseo de que la vida de los humanos, de hoy y del futuro, se desarrollase en paz y bienestar.

24

INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y ROBOTS

En octubre de 2016 la Oficina Ejecutiva del Presidente de Estados Unidos, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y el Comité para Tecnología dieron a conocer un informe, «Preparándose para el futuro de la inteligencia artificial», en el que se explicaba que «avances realizados en la tecnología de la Inteligencia Artificial han abierto nuevos mercados y nuevas oportunidades de progreso en áreas como la salud, energía, educación, energía o medio ambiente». «En los últimos años», se añadía, han aparecido «máquinas que han superado a los humanos en la realización de ciertas tareas específicas, como, por ejemplo, en algunos aspectos del reconocimiento de imágenes».

Hablar de «Inteligencia Artificial» implica ponerse de acuerdo antes sobre qué es la «Inteligencia», puesto que no existe una definición que se acepte universalmente. De entrada tenemos que la emergencia de la inteligencia constituye un problema evolutivo. Se suele distinguir entre «instinto» e «inteligencia». Así, se puede pensar que los instintos no son sino reacciones bioquímicas ante situaciones concretas, que implican beneficios o peligros, y que al surgir con frecuencia en los miembros de una especie se «instalan» permanentemente en su memoria neurológica. En semejante contexto hay que preguntarse si lo que sucedió es que, en algún momento de la cadena de la adaptación evolutiva, los instintos se mostraron insuficientes en la «lucha por la vida», surgiendo una habilidad, que llamamos inteligencia, que dotaba a la especie que la poseía de mejores habilidades; por ejemplo, prever situaciones futuras aun estando en contextos muy alejados de los peligros o beneficios en que se centraban sus instintos. De todas maneras, la diferencia entre «instinto» e «inteligencia» no es demasiado clara.

En cuanto a la «Inteligencia Artificial», algunos se limitan a

definirla como un sistema computacional que exhibe comportamientos que habitualmente, se piensa, requieren «inteligencia» (como la nuestra), mientras que otros la consideran la facultad de resolver racionalmente problemas complejos, o de tomar decisiones de manera que se consigan los propósitos buscados, sean cuales sean las circunstancias que encuentren. Una posible forma de reconocer la Inteligencia Artificial es el denominado «test de Turing», propuesto por el genial y nada afortunado (se suicidó después de ser condenado por homosexualidad y haber aceptado, para evitar la cárcel, un tratamiento hormonal de castración química) matemático inglés Alan Turing (1912-1954), en un artículo titulado «Ingeniería computacional e inteligencia», publicado en 1950 en una revista filosófica, Mind. Sostuvo allí que una máquina es inteligente si una persona que la interroga, pero no la puede ver, es incapaz de deducir por sus respuestas si se trata de una máquina o de un humano. Turing, por cierto, no hablaba de «Inteligencia Artificial», término acuñado en 1955 por John McCarthy (1927-2011), sino de «si una máquina puede pensar».

Para el tipo de inteligencia implícita en el test de Turing podrían bastar dispositivos muy sofisticados pero estáticos, del tipo de Deep Blue, la computadora de IBM que derrotó en 1997 a Gary Kasparov, campeón mundial de ajedrez. De hecho, vivimos ya rodeados de innumerables dispositivos inteligentes de esta clase, aunque de inteligencia limitada, especializada, que realizan multitud de tareas. Dispositivos inteligentes como los smartphones, o «teléfonos inteligentes». Este tipo de inteligencia artificial ya está ayudando a resolver, o al menos a aliviar, algunos de los problemas que afectan hoy a la humanidad: vehículos —existen prototipos en pruebas— que no necesitan de un conductor, que, se dice, salvarán miles de vidas cada año y que incrementarán la movilidad de ancianos y discapacitados; edificios inteligentes que permiten economizar los gastos energéticos y reducir las emisiones de dióxido de carbono; servicios médicos automatizados, presenciales o a distancia; o sistemas para mejorar la enseñanza en todos los niveles educativos. Los ejemplos de máquinas como estas, que no solo respondan a preguntas sino que reaccionen ante el entorno, que tomen decisiones ante situaciones inesperadas y que puedan aprender de «experiencias» anteriores, son ya numerosos y pronto lo serán aún

más.

Por supuesto, también están los sistemas inteligentes «móviles», los robots que podrán mantener otros tipos de relación, más personales y afectivas, con las personas, y de apariencia más similar a ellas. En 1950 Turing escribía que «ningún ingeniero o químico puede

presumir de ser capaz de fabricar un material que sea indistinguible de la piel humana», pero ya se dispone de materiales de extraordinaria versatilidad, y no es difícil imaginar que pronto se logrará que los haya con características básicamente similares a las de los seres vivos, con lo que los robots del futuro tendrán superficies parecidas a las nuestras y también refinados órganos sensoriales.

No dudo que todo esto ya está llegando, que ha llegado ya de hecho, aunque todavía no con la intensidad que sin duda alcanzará. Y un problema importante es cómo afectará al mercado laboral y, como consecuencia, a nuestra forma de vida. Algunos estudios pronostican que en dos décadas el 47 % de los empleos en Estados Unidos se verán sustituidos por procesos automatizados. Otros dicen que en épocas anteriores de cambio tecnológico el balance para el mercado laboral siempre resultó ser positivo. Ignoro si ocurrirá así con esta revolución, pero sí sé que la historia no ofrece lecciones inmutables, solo formas racionales de comprender el pasado, de establecer relaciones entre hechos y actores. De lo que estoy seguro es de que demasiadas personas sentirán lo mismo que los luditas de los siglos xviii y xix, que trataron de combatir las máquinas de hilar que amenazaban sus trabajos en los nuevos telares industriales. Pero los luditas perdieron la batalla, como la perderán quienes intenten luchar contra la robotización en curso.

Vivimos en una época crucial que influirá en cómo serán las personas en el futuro. Nunca en el pasado la humanidad había dispuesto de instrumentos, máquinas y mecanismos «inteligentes», como los actuales y los venideros, a la cabeza los que llegarán como consecuencia de la evolución de la robótica y la inteligencia artificial. Instrumentos capaces de alterar la esencia de lo que constituye, de lo que ha constituido históricamente, un ser humano. Debemos prepararnos, y sobre todo preparar a las nuevas generaciones para que puedan llevar una vida plena rodeados de ellos.

25

CARTA AL ROBOT QUE CUIDARÁ A MIS NIETOS

Apreciado robot:

En mi tiempo —que no es el tuyo— se contaba la historia de náufragos que, aislados en islas deshabitadas, escribían mensajes que metían en botellas que después cerraban y lanzaban al mar. Se dice que alguno de esos mensajes llegó, mucho tiempo después, a un sorprendido destinatario. Que aquello significase la salvación del náufrago es algo que dependía del narrador, de manera que dejemos el resultado como una incógnita. Yo no te escribo un mensaje encerrado en una botella, el mío transitará en papel (poco tiempo) y por los vaporosos mundos electrónicos, y su destino es tan incierto —mejor, improbable— que el que pudo haber pergeñado un desesperado náufrago. Si lo recibes dentro de, digamos, noventa años, hará ya mucho tiempo que habré emprendido el camino que terminará llevándome al lugar del que surgí: el universo. Primero me convertiré en cenizas, aventadas o enterradas en algún lugar de este hermoso planeta nuestro, y luego, mucho más tarde, cuando nuestra estrella sufra su particular Armagedón, desperdigadas por el espacio. Polvo de estrellas somos, y polvo cósmico seremos.

Que fije en unos noventa años el destino temporal deseado de esta carta se debe a que por entonces mis nietos, Violeta y Tobías, habrán cumplido, ojalá, noventa años y estoy seguro de que una buena parte de sus vidas habrán estado en estrecho contacto con robots. La, como ahora denominamos, robotización se habrá instalado firmemente en la vida de todos los humanos. Soy, fui, historiador de la ciencia y sé muy bien que predecir el futuro es misión arriesgada: lo que sé del pasado científico y tecnológico me ha enseñado que el futuro desafía la mayor de las imaginaciones. ¿Habría imaginado aquel gran visionario que se llamó Leonardo da

Vinci —quiero creer que ese nombre, al igual que los de Euclides, Mozart, Beethoven, Newton, Darwin, Maxwell, Einstein o Heisenberg, no será pasto del olvido— que algún día sería posible que dos personas situadas cada una en las antípodas de la otra pudieran comunicarse, casi instantáneamente? Ignoro cuánto se habrá desarrollado lo que ahora denominamos «inteligencia artificial» (IA), la capacidad que hará que los robots seáis mucho más que simples conjuntos de piezas que respondan mecánicamente, sin ningún tipo de creatividad y en ámbitos muy concretos, a estímulos externos (lo que en mi tiempo se denominaba IA débil). Cuando escribo estas líneas, el objetivo último de la IA es lograr que una «máquina» tenga una inteligencia de tipo general similar a la humana, fin que muchos especialistas dudan que se llegue a alcanzar jamás. Yo, sin embargo, no pienso lo mismo. Al menos en algunos campos, los robots tomaréis el liderazgo; por ejemplo, en ciencia. Y ello porque en vuestras inteligencias estarán insertadas leyes científicas que a nosotros, los humanos, aunque sepamos utilizarlas nos son, en el fondo, incomprensibles. Nuestras mentes son «clásicas», no «cuánticas» y no podemos entender cosas como la denominada «dualidad onda-partícula» o el «entrelazamiento». Pero, al formar parte de vuestro sistema cognitivo, esas leyes serán naturales para «seres» como tú, apreciado y lejano robot. Y esto, unido a vuestra capacidad de cálculo y de identificar patrones en conjuntos inmensos de datos, os permitirá encontrar leyes científicas mucho mejor que los humanos. Sois, creo, la esperanza de la ciencia.

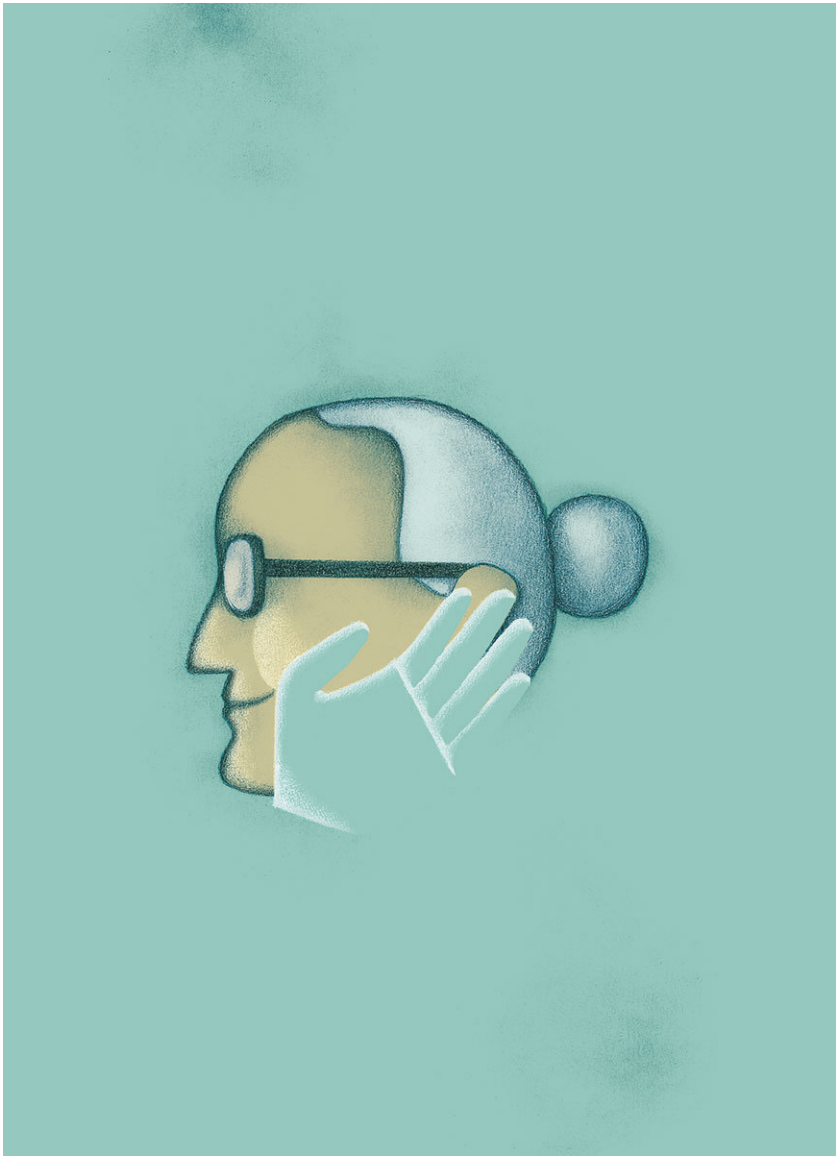
Pero hoy no te escribo esta imposible carta por esto. Si solo pensase en estas cosas, sería la mía una carta para todos, o para una clase determinada, de robots, y ahora yo estoy pensando en un tipo de robot que, imagino, se creará o construirá, uno que mantendrá una relación especial con los humanos, que será algo así como un «robot de compañía» de una persona, que conocerá mejor que nadie sus gustos, cuidará de su salud, le ayudará en sus necesidades y confortará en momentos —tal vez prolongados— de soledad o desvalimiento. En mi acaso desmedida fe en el progreso científico y tecnológico, pienso que el robot al que ahora escribo, tú, será muy diferente a los que ahora, al poco de comenzar el siglo XXI, conocemos. Supongo que tu forma será humanoide y tu composición, lejos de la frialdad de los metales, muy parecida a la

orgánica nuestra. Que serás capaz de mantener conversaciones y reconocerás emociones. No quiero decir que serás como nosotros, los humanos. Tu inteligencia-mente no será capaz de escribir historias del tipo de las que compusieron humanos como —espero que aún se recuerden en tu tiempo— Homero, Cervantes o Shakespeare, ni podrás prolongar tu estirpe mediante actos surgidos de complejas mezclas de emociones y pasiones, aunque estas sean, en el fondo, lo sé, meras reacciones químicas. Pero no me importa, un buen, compasivo robot puede ser no solo útil, sino también una querida compañía, mil veces preferible a la de tantos y tantos humanos cuyos comportamientos e ideas son detestables. Conocí y supe de muchos de estos.

Es a ese robot, al que imagino acompañando —deseo de todo corazón que no seas su única, ni tampoco su más preciada compañía— a mis nietos Violeta y Tobías, al que ahora escribo. Sus noventa años no irán acompañados, ni en hecho ni en temida perspectiva —de esto estoy seguro— de males que los humanos de mi época tememos, alzhéimer, cáncer, senilidad…, y que la ciencia habrá vencido.

El 16 de diciembre de 1940 —yo aún no había nacido— un hombre que viajó como pocos por los mundos de la imaginación pero que temía alejarse físicamente de su hogar, de nombre Isaac Asimov, enunció tres leyes que deberían obedecer todos los robots: «1. Un robot no debe dañar a un ser humano o, por su inacción, dejar que un ser humano sufra daño; 2. Un robot debe obedecer las órdenes que le son dadas por un ser humano, excepto cuando estas órdenes se oponen a la primera Ley; y 3. Un robot debe proteger su propia existencia, hasta donde esta protección no entre en conflicto con la primera o segunda Leyes». Me gustaría que en el futuro —tu pasado — se haya añadido una ley más: «4. Un robot debe procurar que los humanos sean felices, siempre que esa felicidad no entre en conflicto con las dos primeras Leyes».

Procura, apreciado robot (probablemente seréis dos, cada uno tendrá el suyo), que mis nietos sean felices, que su mundo sea luminoso. Y que no olviden algo que quien ahora te escribe, su abuelo, valoró mucho: la tierna humanidad. Pensarlo hoy me hace dichoso a mí también. Más que cualquier otro pensamiento.



Si te ha gustado

La vida de la ciencia
y la ciencia de la vida

te queremos recomendar

Érase un verso

LOS CHICOS Y LAS CHICAS JUNTOS

Neil Gaiman / Iban Barrenetxea

Los chicos no quieren ser príncipes.
Los chicos quieren ser pastores que matan dragones,
igual alguien te regala medio reino y una princesa,
pero es solo lo que pasa por ser un joven pastor
y matar a un dragón. O a un gigante. Y ni siquiera
tienes que ser un pastor. Basta con no ser príncipe.
En los cuentos, incluso los príncipes no quieren ser príncipes,
disfrazándose como mendigos o pastores,
abandonando su reino por otro,
ser príncipe solo es útil una vez muerto el ogro, cumplidos los retos,
y el rey reacio, el padre de ella, debe ser convencido.
Los chicos no sueñan con princesas que vendrán a por ellos.
Los chicos preferirían no ser príncipes,
y muchos chicos besarán con ganas a las chicas del pueblo,
allá en los pastos de las ovejas, alguna noche,
antes que a la princesa, si no viniera como parte del paquete.
Las princesas a veces se disfrazan también,
para eludir a reyes importunos, hacerse feas,
hollín y cenizas y cuidadoras de asnos,
con solo los fantasmas de sus madres para ayudarlas.
Y luego se desdisfrazan, en el momento oportuno,
y destellan y brillan en todo su esplendor. Siendo princesas.

Las chicas son princesas en secreto.
Ninguno sabe que un día, cuando les llegue su turno,
los chicos y las chicas se verán convertidos en malos reyes
o madrinas malvadas,
leñadores envejecidos, pastores viejos, viejas locas y sabias,
de pie en la penumbra y mirando con ojos astutos:
la chica, esperando con paciencia a su príncipe.
El chico, perdido por la noche, allá en el páramo.

LO QUE DIJO SU MADRE

Theodora Goss / Fernando Vicente

Vete, mi niña, por el bosque
a la casa de tu abuela, en una pradera
donde crecen las amapolas con sus bocas rojas.
En esta cesta hay un huevo puesto
hace tres días,
los tres días que nuestro Señor durmió,
sin manchas, de una gallina blanca.
En esta cesta hay también una madeja
de lana, sin teñir,
sin hilar. Y un panal que las abejas

con industria llenaron
de los tréboles en el pastizal más lejano,
sin cegar desde que el sol
lo desheló en primavera.
Si lo puedes llevar sin romper
nada, te daré
este anillo.
Espera, hija, y te daré esta capucha
para ponerte, para que las criaturas del bosque cuyos ojos
parpadean desde la maleza sepan
que mi amor te proteje. Las bestias
acechando debajo de los árboles,
comadrejas, armiños y zorros, y peores
que esos.
E, hija, debes ser sabia
en el bosque.
Cuando te encuentre el lobo, recuerda:
sé cortés, pero evasiva. No responder
es mejor que una respuesta tonta.
Si te has desviado del camino, recuerda
que también me desvié yo. No es de gran importancia,
siempre que prestes atención a las señales:

dónde crece el musgo en la corteza, dónde el petirrojo
construye su nido. El sol
navegando hacia el oeste.
Pero no te pares a recoger
las flores del espino, ni siquiera
las bayas rojas que tanto parecen
cuentas de coral. Son venenosas.
Y no te pares a escuchar
los juncos.
Es importante que él no llegue allí antes,
a la casa de tu abuela.
Y cuando tu abuela te sirva,
con un cuchillo de plata, en un plato
como una luna de porcelana, sopa de lobo,
acuérdate de bendecir la mesa
antes de comer.
Y que sepas que estoy contenta
contigo, mi hija.
Pero recuerda, volviendo por el bosque,
calentita contra la noche con una capa
de piel de lobo:
el cazador es también un lobo.

La vida de la ciencia y la ciencia de la vida es un libro imprescindible para conocer el pasado y el futuro de nuestra especie.

En los veinticinco capítulos de este libro, José Manuel Sánchez Ron ha intentado moverse en el doble territorio de la ciencia y de la vida. No solo bajo la óptica que determina la ciencia, sino también desde perspectivas más amplias. Especialmente la del efecto que nuestras bien informadas (por la ciencia y la técnica) acciones ejercen en nuestro hábitat, el planeta Tierra, y en nosotros mismos, en nuestro presente y en nuestro futuro. De ahí el título, La vida de la ciencia y la ciencia de la vida.

Se trata de comprender de dónde venimos —«hijos de las estrellas»—, qué somos, en qué, tal vez, podremos convertirnos, y acaso sobre todo, entender que lo que hacemos tiene consecuencias, y cuáles son estas.

José Manuel Sánchez Ron, Catedrático de Historia de la Ciencia en la Universidad Autónoma de Madrid y miembro de la Real Academia Española, es también académico correspondiente de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales y de la Académie Internationale d'Histoire des Sciences de París. Ha dedicado una parte importante de su carrera a los estudios einstenianos. Ha impartido cursos y conferencias en múltiples instituciones, españolas y extranjeras, entre las que figuran las Universidades de Yale, Minnesota, Boston, Berkeley, Oxford, Marsella, así como en el Museo Nacional del Aire y el Espacio de Washington, Instituto Max Planck de Historia de la Ciencia de Berlín o el Colegio de México.

Alberto Gamón (Alcañiz, 1974). Desde 1995 se dedica a la ilustración en diferentes campos. En el ámbito infantil ha ilustrado varios libros. Siendo uno de los ilustradores seleccionado para la exposición ILUSTRÍSIMOS. PANORAMA DE LA ILUSTRACIÓN INFANTIL Y JUVENIL EN ESPAÑA 2005 (Bolonia, Italia). Entre sus publicaciones: Operación J (Diálogo, 2003), Un mar de mundos (Thule Ediciones, 2006), 40 Elefants Mariners (obra colectiva, Instituto Municipal de Cultura de Meliana, 2007), Problemático lo acuático (Editorial Cidcli, México, 2008), Paper Work (Imaginarium, 2009), 27 palabricas (obra colectiva, 2009), 10 buenas ideas (Imaginarium, 2010), Seis Leones (Editorial Cidcli, México, 2010). Asimismo es el autor y el ilustrador de Cinco músicos en el quinto pino, editado por Apila en 2012 para conmemorar su quinto aniversario. En los últimos años, también realiza talleres de ilustración para niños y adultos, y colabora en varios proyectos educativos

© De los textos: José Manuel Sánchez Ron

© De las ilustraciones: Alberto Gamón

Edición en ebook: noviembre de 2021

© Nórdica Libros, S.L.

C/ Fuerte de Navidad, 11, 1.º B

28044 Madrid (España)

www.nordicalibros.com

ISBN: 978-84-18451-48-5

Diseño de colección: Diego Moreno

Corrección ortotipográfica: Victoria Parra y Ana Patrón

Composición digital: leerendigital.com

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

Índice

Portada

La vida de la ciencia y la ciencia de la vida

PRÓLOGO

1. HIJOS DE ESTRELLAS

2. ¿UNO O MUCHOS UNIVERSOS?

3. COPÉRNICO

4. GALILEO EN NUESTRA MEMORIA

5. ISAAC NEWTON: CIENCIA Y RELIGIÓN

6. AGUA, BENDITA AGUA

7. EL ORIGEN DE LA VIDA

8. RETORNO AL AGUA

9. LOS CORALES: COMO EL CANARIO EN UNA MINA

10. CHARLES DARWIN Y LA EVOLUCIÓN DE LAS ESPECIES

11. EL CRÁTER DE LA MUERTE… Y DE LA VIDA

12. EL CRÁTER DE LA MUERTE… Y DE LA VIDA

13. EL CEREBRO: UN PEQUEÑO UNIVERSO

14. LA INTEMPORALIDAD DE LA MATEMÁTICA

15. CEREBRO, MATEMÁTICAS Y MÚSICA

16. ¿PIENSAN LOS PULPOS?

17. LA PERRA QUE ME PARTIÓ EL CORAZÓN

18. MODELOS Y ESPERANZAS: MARIE CURIE Y RACHEL CARSON

19. MARGINACIONES

20. BELLEZA, VERDAD Y SIMETRÍA

21. LA RELATIVIDAD GENERAL

22. EL FUTURO DE NUESTRA ESPECIE

23. ¿HOGARES EXTRATERRESTRES?

24. INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y ROBOTS

25. CARTA AL ROBOT QUE CUIDARÁ A MIS NIETOS

Promoción

Sobre este libro

Sobre José Manuel Sánchez Ron

Sobre Alberto Gamón

Créditos